



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

VYUŽITÍ UAV V GEOFYZIKÁLNÍM PRŮZKUMU – REŠERŠNÍ STUDIE

USAGE OF UAV IN GEOPHYSICAL SURVEY – THE OVERVIEW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Josef Hlůšek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Josef Hlůšek**
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: Mechatronika
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Využití UAV v geofyzikálním průzkumu – rešeršní studie

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Geofyzikální průzkum terénu se v současnosti provádí terestrickým způsobem za použití následujících metod: magnetometrické metody, geoelektrické metody, elektromagnetické metody, radar, gravimetrie, seismické metody, geotermické metody, radiometrické metody. U některých z těchto metod je výhodné měřicí přístroje umístit na vhodném nosiči a zkoumat povrch země z výšky. Podstatou práce je vytvořit přehled metod geofyzikálního průzkumu, snímačů v těchto metodách využívaných, a přehled vhodných UAV prostředků s ohledem na parametry ovlivňující jejich použití (nosnost, výdrž, dostup, ...).

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte přehled metod geofyzikálního průzkumu terénu.
2. Zpracujte přehled snímačů používaných v této úloze.
3. Vytvořte přehled komerčně dostupných UAV prostředků, vhodných pro jednotlivé metody geofyzikálního průzkumu terénu, analyzujte jejich výhody a nevýhody.

Seznam doporučené literatury:

SHERIFF, R. E.: Geophysical Methods, Prentice Hall, 1988

SHARMA, P. V.: Geophysical Methods in Geology, Elsevier, 1986

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 16. 10. 2016


prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu




doc. Ing. Jaroslav Katrňák, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Práce se zabývá možnostmi použitím UAV (bezpilotních létajících prostředků) v geofyzikálním průzkumu. Práce představuje přehled metod a snímačů používaných v geofyzikálním průzkumu terénu, přehled komerčně dostupných UAV vhodných pro geofyzikální průzkum a analyzuje jejich možnosti využití pro tato měření.

Abstract

This bachelor's thesis elaborates on possibilities of use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in geophysical surveys. The thesis introduces a list of methods and sensors used in geophysical surveys, an overview of commercially available UAVs suitable for such survey followed by analysis of their capabilities.

Klíčová slova

UAV, dron, bezpilotní létající prostředek, geofyzikální měření, dálkový průzkum země

Keywords

UAV, drone, Unmanned Aerial Vehicle, Geophysical measurements, remote sensing

Bibliografická citace:

HLUŠEK, J. *Využití UAV v geofyzikálním průzkumu – rešeršní studie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 60s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Využití UAV v geofyzikálním průzkumu – rešeršní studie“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Jiřího Krejsy, Ph.D. a s použitím literatury a pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 25. května 2017

.....

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Krejsovi, Ph.D. za trpělivost a ochotu při tvorbě této práce. Chtěl bych také poděkovat mé rodině a přátelům za podporu při studiu.

Obsah

1	Úvod a cíl práce.....	9
1.	Geofyzikální průzkum.....	10
1.1.	Gravimetrické metody	10
1.2.	Magnetometrické metody	10
1.3.	Radiometrické metody.....	11
1.4.	Geotermální metody	11
1.5.	Geoelektrické metody.....	11
1.6.	Seismické metody.....	12
1.7.	Elektromagnetické metody	12
2	Současné využití UAV pro měření a snímkování	13
2.1	Tvorba ortofotomap	14
2.2	Spektrální měření.....	14
2.3	Metoda laserového skenování	15
2.4	Fotogrammetrie	16
2.5	Monitoring stavu vegetace.....	17
2.6	Využití v lesnictví.....	18
2.7	Měření toku řek	18
2.8	Měření stavu a kvality vod	18
2.9	Měření termální aktivity	19
2.10	Výpočty objemů	20
2.11	Využití v archeologii	20
3	Snímače vhodné pro měření pomocí UAV	21
3.1	Termokamera.....	21
3.1.1	Optris PI200 / PI450.....	21
3.1.2	Oprix PI Netbox	21
3.1.3	Workswell WIRIS 640	22
3.2	Spektrální kamera	23
3.2.1	Aisa KESTREL 10 / 16.....	23
3.2.2	MQ022HG-IM-SM5X5-NIR	24

3.2.3	RedEdge.....	24
3.3	Laserový skener	25
3.3.1	Riegl VQ-480-U / VUX-1UAV.....	25
3.4	Magnetometr	26
3.4.1	Scintrex CS-L	26
3.5	Radar	26
3.5.1	IBIS-FS Plus	27
3.6	Fotokamera.....	27
3.6.1	Nikon D7200.....	27
3.6.2	GoPro Hero 5	28
3.7	Srovnání parametrů	29
	Spektrální kamera	29
	MQ022HG	29
	Red Edge.....	29
4	Letecký nosič	31
4.1	Balon	32
4.2	Vzducholod'.....	32
4.2.1	outdoor RC Blimp.....	32
4.3	Motorový letoun.....	33
4.3.1	eBEE	34
4.3.2	Aeromapper 300	35
4.3.3	Primoco.....	35
4.3.4	RQ-11 Raven	36
4.3.5	Penguin B.....	36
4.4	Letoun s padákovým křídlem.....	37
4.4.1	PIXY UAV	37
4.5	Vrtulník	38
4.5.1	Scout B1-100	38
4.5.2	PAIS H-1000.....	39
4.5.3	Yamaha R-MAX.....	40
4.6	Multikoptéra.....	40
4.6.1	DJI S1000	41

4.6.2	Matrice 100	42
4.7	Srovnání parametrů.....	43
5	Provoz UAV v ČR – legislativa	45
5.1	Získání povolení	49
6	Závěr.....	52
7	Seznam použitých zdrojů	53
8	Seznam obrázků	57
9	Seznam tabulek	58
10	Seznam použitých zkratk a symbolů	59

1 Úvod a cíl práce

S vynalezením potřebných technologií a jejich uvolněním do komerčního provozu na počátku 21. století, se bezpilotní modely letadel (UAV) staly dostupné pro nejrůznější použití. Obor bezpilotních modelů letadel se neustále rozvíjí a nachází uplatnění v mnoha aplikacích (vědecké, vojenské, komerční, zábavní). Postupným vývojem elektroniky, motorů, řídicích systémů a lehkých konstrukčních materiálů se bezpilotní modely letadel dostaly do kontaktu s širokou veřejností a jejich atraktivita roste ve všech odvětvích jejich využití. Díky jejich cenové dostupnosti a jejich možnostech použití dnes často nahrazují stroje a zařízení v nejrůznějších odvětvích.

Existuje několik možností jak v současné době získat geoprostorová a geofyzikální data, jedna možnost je pozemní měření v terénu. Další možností je využití leteckého, nebo družicového snímkování. Využívají se k tomu klasické pilotované letecké prostředky, pomocí těch je možné mapovat lokality o velikosti až stovek kilometrů čtverečních ale i jednotek kilometrů čtverečních, což může být vzhledem k nutným přeletům z mateřského letiště drahé.

Tuto mezeru na trhu vyplňují UAV, která jsou vhodná pro snímkování malých lokalit o rozlohách v řádech kilometrů čtverečních, nebo malých lokalit ve velmi vysokém obrazovém rozlišení. Navíc UAV lze využít téměř okamžitě, díky tomu je jejich nasazení vhodné například i pro mapování přírodních nebo jiných katastrof, nebo v místech kde je nebezpečný provoz pilotovaných prostředků nebo pozemní měření.

Cílem práce je zpracovat přehled metod průzkumu terénu, snímačů používaných pro dané úlohy, zpracovat přehled komerčně dostupných UAV prostředků vhodných pro průzkum terénu a analyzovat jejich vhodnost, výhody a nevýhody.

1. Geofyzikální průzkum

Použití geofyzikálních metod je dnes součástí komplexních průzkumů v geologii, hydrogeologii, stavebnictví a archeologii. Geofyzikální průzkum je realizován pomocí rozsáhlého souboru metod. Podle fyzikální podstaty lze geofyzikální metody dělit na metody gravimetrické, magnetometrické, radiometrické, radarové, geotermické, geoelektrické a seismické. Cílem geofyzikálních měření je popis geofyzikálních polí a určení jejich lokálních anomálií a tím identifikovat geofyzikální projevy související s výskytem nerostné suroviny, strukturálními vlastnostmi hornin, tektonickým porušením, výskytem podzemních vod a dalšími sledovanými parametry. Z hlediska umístění měřicí jednotky dělíme měření na měření povrchové, vrtní, důlní, lodní, letecké a družicové [12] [13].

1.1. Gravimetrické metody

Gravimetrické metody studují změny tíhového pole země způsobené hustotními nehomogenitami prostředí. Měření tíhového pole země probíhá tzv. gravimetrem, podle způsobu měření je můžeme rozdělit na gravimetry pro měření absolutní a relativní hodnoty tíhového zrychlení [12]. Na všech měřených bodech musí být určena i přesná nadmořská výška, jelikož hodnota tíhového zrychlení závisí i na nadmořské výšce.

- **Absolutní měření** – zjišťuje konkrétní hodnotu gravitačního zrychlení z měření na jednom bodu. Tyto gravimetry pracují na principu měření doby kyvu kyvadla, nebo doby volného pádu tělesa ve vakuu. Měření absolutními gravimetry je časově náročné, proto se častěji využívá měření relativní, kdy je pomocí absolutního gravimetru zaměřen tzv. výchozí bod (kalibrační bod).
- **Relativní měření** – tento způsob měření určuje rozdíly tíhového pole mezi jednotlivými měřenými body. Princip relativního gravimetru spočívá ve sledování polohy tělesa dané hmotnosti umístěného v prostoru na pružinách. Poloha tělesa je sledována opticky pomocí polovodičových součástek, nebo pomocí napětí na kondenzátoru, kdy jedna z jeho desek je uchycena pevně a druhá na měřeném tělese, změna napětí je dána změnou vzdáleností těchto desek [14].

Gravimetrických měření se využívá při lokalizaci dutin v zemském povrchu (krasové oblasti, poddolovaná území) a zjišťování hustot okolních hornin ve vrtech a dolech. Při měření musí být gravimetr uchycen nehybně, obvykle pomocí stativu, jelikož měření jsou nepříznivě ovlivněna při jakémkoliv pohybu měřicího zařízení [14].

1.2. Magnetometrické metody

Magnetometrické metody sledují změny přirozeného magnetického pole Země. Změny magnetického pole země jsou způsobeny přítomností hornin a objektů s kontrastními magnetickými vlastnostmi – obsahem feromagnetických minerálů. Využití magnetometrie je podobné jako u gravimetrie. Magnetometrickými metodami lze určit typy hornin v podloží, pokud je podloží složeno z magnetických hornin, určit průběh povrchových a hlubinných zlomů a mapovat míru propustnosti vulkanických hornin. Metoda má uplatnění především ve vulkanicky aktivních oblastech. Hloubkový dosah je teoreticky neomezený, v Evropě dosahuje desítek kilometrů [14] [16]. Měření probíhá pomocí protonového magnetometru, kdy je k měření magnetického pole využito precese protonů. Vodíková jádra v kapalině bohaté na vodík se chovají jako miniaturní dipóly. Pomocí budící cívky jsou vystaveny působení magnetického pole a jsou polarizovány. Po

zaniknutí tohoto buzení se protony opět přizpůsobí vnějšímu magnetickému poli a generují v cílce signál, velikost tohoto signálu je úměrná indukci daného magnetického pole [15].

1.3. Radiometrické metody

Radiometrické metody slouží k měření energie elektromagnetického záření a měření radioaktivity. Radioaktivita je fyzikální jev, při kterém je do okolí emitováno radioaktivní záření. Intenzita tohoto záření běžně se vyskytující v přírodě není člověku nebezpečná, jsou ale stanoveny hygienické limity tohoto záření. Radiometrické metody jsou používány při geologickém mapování pro rozlišení horninových typů [14].

Jedním ze zařízení pro měření radioaktivního záření je Geigerův-Müllerův čítač, jeho princip spočívá v narážení prolétávajících částic do plynu v trubici, srážkou jsou vytvářeny ionty a elektrony, v trubici jsou vodiče pod vysokým napětím a jsou detekovány impulzy dopadání uvolněných elektronů na anodu. Geigerův-Müllerův čítač počítá tyto impulzy a určuje míru radiace. Zařízením pro pouhou detekci přítomnosti elektromagnetického záření daných vlnových délek je spektrální kamera.

1.4. Geotermální metody

Geotermální metody sledují teploty měřených prostředí a povrchů. Anomálie teplot v přírodě jsou způsobovány především přítomností vody nebo jiné tekavé látky v prostředí, která snižuje teplotu odnímáním tepla prostředí při odpařování, rozdílná tepelná vodivost jednotlivých hornin nebo přítomnost termálních pramenů. Metody termálního měření můžeme rozdělit dle způsobu měření:

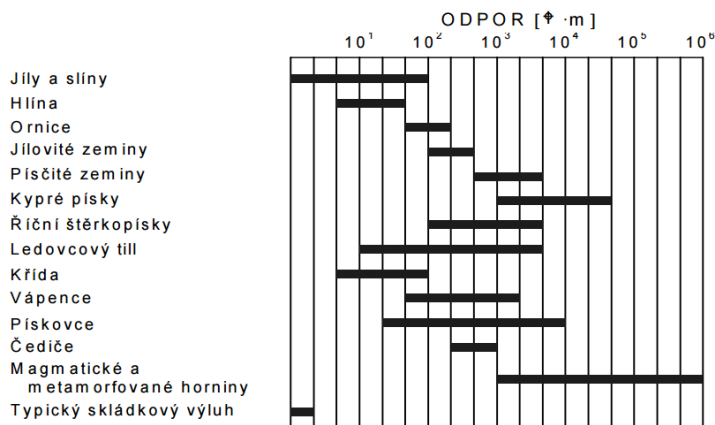
- **Metoda kontaktního měření teplot** – měření probíhá zavedením teplotního čidla do zkoumaného prostředí. Uplatnění nachází zejména při měření ve vrtech k detekci propustných poloh na základě indikace přítoku nebo výronu podzemní vody. Kontaktní měření lze využít také pro lokalizaci podzemních dutin, pramenišť podzemní vody.
- **Metoda bezkontaktního měření teplot** – měření probíhá snímkováním v oblasti infračervené části spektra elektromagnetického záření. K tomuto snímkování je využíváno spektrálních kamer pracujících v infračervené části spektra elektromagnetického záření, jde o tzv. termokamery. Měření teplot termokamerou může probíhat pozemním měřením, nebo měřením leteckým [12].

1.5 Geoelektrické metody

Geoelektrické metody představují skupinu geofyzikálních průzkumných metod, tyto metody pracují na základech chování elektrických polí v různých prostředích. Tyto metody lze použít pouze u pozemního měření přímo v terénu.

O odporové metody stejnosměrné

Tyto metody patří k nejspolehlivějším průzkumným metodám u mělkých geologických měření. Využívají změn v charakteristických hodnotách měrných odporů různých typů hornin určených při měření ve stejnosměrném elektrickém poli. Každá hornina má charakteristickou hodnotu měrného elektrického odporu. Měření měrných odporů daných hornin ovlivňuje stupeň zvětrání horniny, jejich pórovitost, s tím souvisí i případné nasycení vodou. Charakteristický rozsah hodnot měrných odporů hornin je patrný z obrázku 1.



Obrázek 1 Charakteristický rozsah hodnot měrných odporů různých hornin [12].

Měření odporu horninového prostředí je nejčastěji prováděno pomocí čtyř elektrod, kdy dvě elektrody slouží pro napájecí obvod a dvě elektrody pro obvod měřicí. Tento způsob měření je použit pro eliminaci uzemňovacího odporu, který se mění s každým přemístěním napájených elektrod. Měření může probíhat jak plošně, tak hloubkově.

Odporové metody střídavé

Metoda měření a zpracování informací je identická s metodou odporovou stejnosměrnou, kdy měření probíhá ve střídavém elektrickém poli o frekvencích 400-1000 Hz. Důvodem použití střídavého elektrického pole je eliminace rušivých nízkofrekvenčních elektrických polí.

1.6 Seismické metody

Seismické metody jsou založeny na rozdílných rychlostech šíření a absorpci vln v různých horninách, kdy rychlost závisí na Youngově modulu pružnosti, hustotě a hodnotě Poissonova čísla pro daný materiál. K vyvolání vlnění v prostředí při měření je používáno explodujících náloží, hydraulických vibračních zařízení, nebo úderů palice do vhodné podložky. Frekvence generovaných vlnění jsou v rozmezí 10 – 10000 Hz. Čím je rychlost vlny větší, tím je pevnější prostředí, ve kterém se vlna šíří. Ke snímání vlnění je používáno piezoelektrických snímačů [12] [17]. Seismické metody měření jsou realizovatelné pouze pozemním měřením v terénu.

1.7 Elektromagnetické metody

Elektromagnetické metody využívají principu elektromagnetické indukce a šíření elektromagnetických vln v různých prostředích. Elektromagnetické pole v horninovém prostředí je závislé na fyzikálních vlastnostech hornin, zejména na elektrické vodivosti a relativní permitivitě. Měření probíhá bezkontaktně a je časově velmi efektivní. I když jsou tyto metody v současnosti docela přesné, nedosahují takové přesnosti jako geoelektrické metody.

Metoda velmi dlouhých vln

Metoda využívá elektromagnetických polí radiostanic pracujících na frekvencích 10-30 kHz. Tento signál proniká do velkých vzdáleností od vysílačů a proniká do horninového prostředí do velkých hloubek (až 100 metrů). Zkreslení těchto polí je dáno vodivostními nehomogenitami prostředí. Měření změn těchto polí je možné sledovat fyzikální a geologické změny horninového masivu. Snímání magnetické složky vlnění probíhá

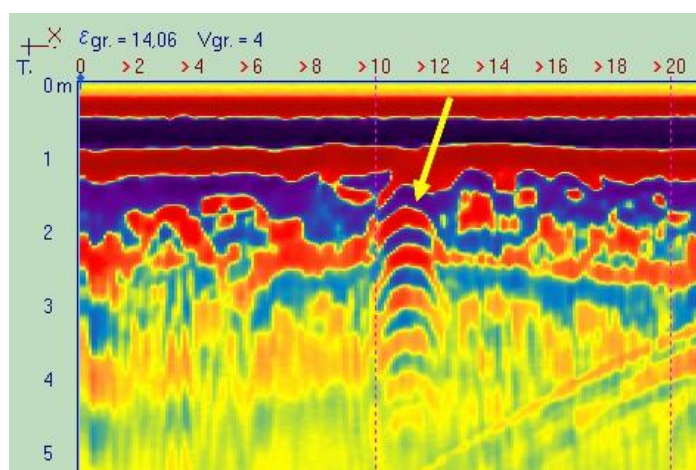
pomocí cívek, případně pomocí cívky a uzemněných elektrod a je snímána i elektrická složka vlnění, za pomoci které lze určit měrný odpor prostředí. Nevýhodou této metody je značné rušení od vysokonapětového vedení a postupným menším používáním vysílačů vysílajících signál pomocí dlouhých vln. Výhodou této metody je její operativnost a finanční nenáročnost. Metoda je používána v hydrogeologii a pro sledování geologických zlomů [18].

Metoda dipólového elektromagnetického profilování

Na rozdíl od metody velmi dlouhých vln jde o metodu aktivní s vlastním zdrojem elektromagnetického vlnění. Dipólová metoda využívá dvě cívky – cívku zdrojovou a cívku měřicí. Vzdálenost cívek (desítky centimetrů až desítky metrů) a frekvence budiče (100 Hz – 10 kHz) určují hloubkový dosah měření, kdy se zmenšující se vzdáleností cívek hloubkový dosah klesá. Výsledkem měření jsou hodnoty zdánlivých měrných vodivostí. Využití nacházejí stejně jako odporová měření k mapování vodivostních nehomogenit [18].

Elektromagnetické reflexní metody

Jednou z elektromagnetických reflexních metod je metoda georadarová, či radiolokační. Metoda je založena na vysílání elektromagnetických pulzů o vysoké frekvenci (8 – 2000 MHz) do měřeného prostředí a registraci času příjmu po odrazu od reflexních rozhraní, které jsou projevem změny elektromagnetických vlastností (elektrická permitivita, elektrická vodivost). Je sledován průběh odrazných rozhraní ve formě tzv. georadarových řezů (radiogramů), ve kterých jsou zaznamenány hloubky odrazových ploch podle zjištěné rychlosti šíření elektromagnetické vlny. Hloubkový dosah je ovlivněn vodivostí prostředí, v podmínkách v ČR je běžný hloubkový dosah v jednotkách metrů.



Obrázek 2 Radarogram. Šipka ukazuje na pravděpodobný hrob nebo jámu.

2 Současné využití UAV pro měření a snímkování

UAV představují možnost použití jako nosiče nejrůznějších měřicích a snímkových zařízení. Využití nacházejí v leteckém snímkování, kartografii, archeologii, lesnictví, zemědělství, hydrologii, stavebnictví, energetice a dalších odvětvích průmyslu. Většina aplikací použitých v těchto měřeních úzce souvisí s geofyzikálním měřením.

2.1 Tvorba ortofotomap

Ortofotomapa, průmyslový standard, který má geometrickou přesnost mapy a obsahuje vysoký detail fotografie. Ortografický snímek je fotografie centrální projekce transformovaná do přesné reprezentace zemského povrchu bez zkreslení terénu. Ortofotomapa umožňuje přesné měření vzdáleností a ploch, případně připojení dalších vrstev z jiných měření.

K leteckému snímkování pomocí UAV a tvorbě ortofotomap jsou běžně používány běžné komerční fotoaparáty. Měření se provádí v porovnání s pilotovanými prostředky z menších výšek v řádu maximálně stovek metrů. Měření probíhá nafocení sekvence snímků s velkým překryvem, pro finální výstup se využívají jen centrální části snímků, které bývají ostřejší a relativně málo zkreslené. Kvalita a geometrické rozlišení snímků závisí na výšce a rychlosti letu, při nízké výšce letu a vysoké rychlosti je nutno pro udržení požadovaného překrytu fotografií provádět snímkování velmi rychle, což je ne vždy technicky možné. U okřídlených UAV je geometrické rozlišení běžně limitováno 3-5 cm/px, u helikoptér a multikoptér může geometrické rozlišení dosáhnout až 1cm/px [1].

2.2 Spektrální měření

Elektromagnetické spektrum lze zaznamenávat pomocí spektrálních kamer, kdy snímky vznikají postupně řádkováním při měření v široké části elektromagnetického spektra v úzkých spektrálních pásmech. Data jsou ukládána ve formě rastrů, kdy hodnota pixelu vyjadřuje numericky jas dané plochy.

Odrazivé vlastnosti povrchů pak lze určit jako podíl záření odraženého k množství záření dopadajícího na dané vlnové délce. Měřená veličina se nazývá spektrální odrazivost udávaná v procentech. Spektrální odrazivost závisí několika faktorech:

- Na chemickém složení látky. Přítomnost organických látek způsobuje menší odrazivost, obsah organických látek se projevuje zejména v oblasti kratších vlnových délek (1,5-1,8 mikrometrů).
- Na vlhkosti látky. S narůstající půdní vlhkostí se snižuje odrazivost.
- Na textuře povrchu. Odrazivost se zvětšuje s narůstající velikostí částic. Písečná půda dosahuje vyšší odrazivost než půda jílovitá.
- Na drsnosti povrchu. Snižující se drsnost zvyšuje odrazivost.
- Na stavu okolí jako například propustnost atmosféry [12].

Některé minerály mají velmi silný a jasně vymezený spektrální projev, např. jílové minerály. Naopak např. křemen a živce mají velmi slabý spektrální projev. Ve viditelné části spektra se výrazně projevuje obsah železa: narůstající obsah oxidů železa koresponduje se změnou barvy půdy na charakteristickou cihlově červenou, která způsobuje nárůst odrazivosti v červeném a pokles v zeleném pásmu [12].

Důležitým parametrem u spektrálních kamer je spektrální rozlišení, to určuje schopnost snímače zaznamenávat jemné intervaly vlnových délek. Jemnější spektrální rozlišení představuje užší interval vlnových délek pro určité pásmo. Toto rozlišení vyjadřuje z jaké části elektromagnetického spektra a v kolika pásmech kamera poskytuje snímky.

Na základě spektrálního rozlišení se rozdělují snímače na:

Panchromatické

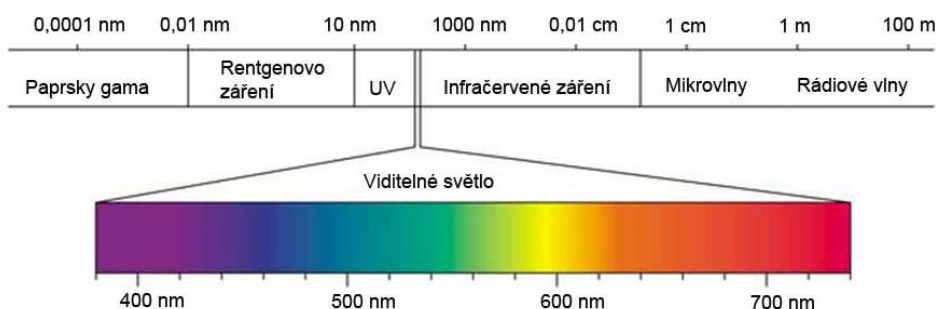
Panchromatické snímáče snímají pouze jedno spektrální pásmo. Výstup se obvykle prezentuje pomocí stupnice odstínů šedi, kdy odstín pixelu odpovídá numerickému jasů dané plochy a vztahuje se k intenzitě slunečního záření odraženého objektem a zaznamenaného snímáčem.

Multispektrální

Multispektrální snímáče měří v několika spektrálních pásmech. Každé pásmo lze zobrazit samostatně, nebo spolu s jinými pásmy jako barevnou syntézu. Multispektrální snímky pokrývají oblast elektromagnetického spektra od viditelné oblasti po střední infračervenou oblast. Multispektrální kamery běžně zaznamenávají ve 4 až 36 spektrálních pásmech.

Hyperspektrální

Hyperspektrální snímáče měří ve více spektrálních pásmech než snímáče multispektrální, běžně kolem 200 pásem. Přesnější informace obsažená v hyperspektrálním snímku umožňuje lepší identifikaci materiálů a objektů.



Obrázek 3 Základní oblasti elektromagnetického spektra [12].

Označení oblasti	Název oblasti	Vlnová délka
UV	ultrafialové záření	0,1 – 0,4 μm
VIS	viditelné záření	0,4 – 0,7 μm
NIR	blízké infračervené záření	0,7 – 1,4 μm
MIR	střední infračervené záření	1,4 – 3,0 μm
TIR	tepelné záření	3,0 μm – 1,0 mm
MW	mikrovlnné záření	1,0 mm – 1,0 m

Tabulka 1 Běžně měřené oblasti elektromagnetického spektra [12].

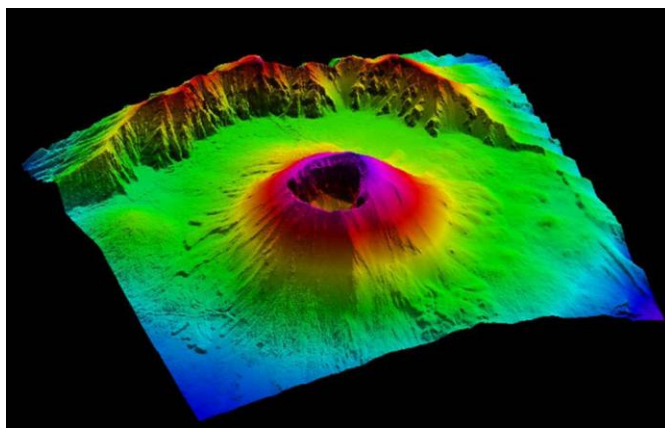
2.3 Metoda laserového skenování

Laserové systémy umožňují bezkontaktní získávání prostorových souřadnic libovolných tvarů terénu, budov a konstrukcí s velkou rychlostí a přesností. Většina skenovacích systémů využívá pulzní laserovou technologii pro měření délek a určuje polohu bodů prostorovou polární metodou, kdy je poloha bodu určena pomocí úhlu a vzdálenosti od měřicího zařízení. Princip technologie spočívá v zaměření objektu pomocí mřížky bodů s daným rozestupem (desítky mm až desítky cm, v závislosti na vzdálenosti od skenovaného objektu). Princip spočívá v měření vzdálenosti, kterou urazí světelný

paprsek laseru mezi zdrojem záření a povrchem měřeného objektu. Vzdálenost je určena časem mezi vysláním paprsku a jeho zpětným přijetím. Laserový paprsek je během průchodu zemským pokryvem postupně odrážen a jeho část může proniknout až na samotný terén. Přístroje jsou schopny vyhodnotit pořadí jednotlivých odrazů v rámci jednoho paprsku. V případě vícenásobného odrazu jsou z prvního odrazu získány informace o povrchu (koruny stromů, střechy budov) a z posledního o samotném terénu [9].

V praxi je během měření použito společně s laserem i zařízení snímající obraz skenovaného území pro snadnější orientaci v měřeném prostoru a identifikaci měřených objektů. Snímky lze také použít jako texturu na měřený 3D model [10].

Dosah běžných skenerů je přibližně 300 m, při rychlosti měření více než 1000 bodů za sekundu je dosahováno přesnosti 5–50 mm podle vzdálenosti. Výsledkem měření je tzv. „mračno bodů“, které je dále zpracováváno (vytvářet plochy, vyhotovovat libovolné řezy, modely atp.).



Obrázek 4 Laserový snímek terénu okolí sopky Vesuv

Statický režim skenování

Letecký nosič během doby skenování nemění svou pozici a orientaci skeneru. Po dokončení skenování se nosič přesune na další pozici a měření opakuje. Poloha každého mračna bodů je určena v místním souřadnicovém systému, který má 6 stupňů volnosti, 3 souřadnice referenčního bodu (poloha skeneru) jako počátek souřadného systému a 3 úhly rotace os.

Kinematický režim skenování

Letecký nosič se během skenování pohybuje bez zastavení a laserový skener skenuje nepřetržitě. Každý obrazový bod je v individuálním souřadném systému, proto je nutno sledovat okamžitou polohu referenčního bodu a orientaci os skeneru.

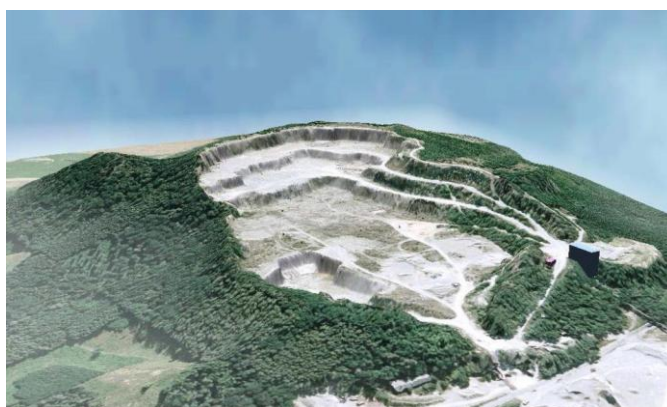
2.4 Fotogrammetrie

Název fotogrammetrie vznikl složením tří řeckých slov:

- Photos – světlo
- Gramma – záznam
- Metron – měřit

Významy jednotlivých slov napovídají, jak slovo fotogrammetrie vzniklo. Vzniklo ze snahy nazvat vhodným způsobem činnost zabývající se měřením světelných záznamů. Fotogrammetrie je obor geodézie a kartografie, který se zabývá zpracováním informací získaných nejčastěji z fotografických snímků [11]. Ke snímkování jsou obvykle používány běžné komerční fotoaparáty.

Druhy snímkování můžeme rozdělit podle směru fotografování na snímky horizontální, vertikální a šikmé. Dále podle způsobu pořizování snímků na snímky jednotlivé, kdy je fotografován pouze jeden snímek dané oblasti nebo detailu a snímky řadové, kdy jsou snímky pořizovány za sebou při letu po dané trajektorii, snímky se navzájem překrývají tak, aby při zpracování snímků byl jejich počet dostatečný pro požadovanou kvalitu. Výsledkem je prostorový model, jsou zpracovány snímky z minimálně dvou různých úhlů záběru, mimo polohu bodu v rovině tak získáme i jeho výšku

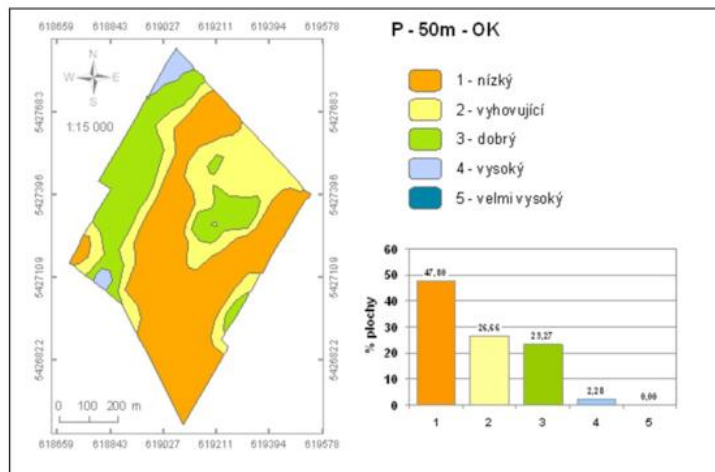


Obrázek 5 Model lomu Olbramovice zpracovaný pomocí fotogrammetrie

2.5 Monitoring stavu vegetace

Vhodným využitím UAV v zemědělství je mapování aktuálního stavu zemědělských ploch. Použití UAV pro tyto účely poskytuje rychlé a relativně přesné informace o aktuálním stavu plodin. Tímto způsobem může být monitorováno poškození plodiny po intenzivních srážkách nebo vichřicích. Pro tato použití není potřeba speciálních snímacích zařízení, postačuje běžný fotoaparát s dostatečným rozlišením.

Velmi populární je dnes tzv. precizní zemědělství, které se zabývá zkoumáním heterogenity pozemku. Klíčové je získání maximálního množství informací o pozemku (složení půdy, mocnost orniční půdy, obsah živin, vlhkost) pomocí jak přímých metod, tak metod nepřímých (měření pomocí UAV). V tomto případě se k měření využívají multispektrální kamery a vytvářejí se aplikační mapy a mapy vegetačního indexu. Data z těchto měření mohou být mimo jiné využita pro moderní zemědělské stroje, které jsou řízeny podle GPS a mohou opravit například množství hnojiva nebo postřiku [2].



Obrázek 6 Mapa zásobení půdy fosforem

2.6 Využití v lesnictví

U rozsáhlých zalesněných oblastí je jejich sledování výhodnější pomocí leteckého snímkování než pozemním měřením. Pro malé a lokální oblasti představují UAV možnost rychlého a levného sledování těchto oblastí. Vzdušným průzkumem lze určit hustotu zalesnění, odhadnout kubaturu, dokumentovat postup prací, vyhledávání odumřelých stromů, případně sledování výšky stromů.

V současné době se nejen v lesnictví začíná používat metoda 3D laserového skenování, které patří k nejmodernějším metodám pořizování prostorových dat. Využití této metody v lesnictví směřuje k maximální automatizaci při vyhodnocování změřených dat jako například rozpoznání jednotlivých stromů, určení druhu dřeviny, průměr kmene nebo výška stromu [3].

2.7 Měření toku řek

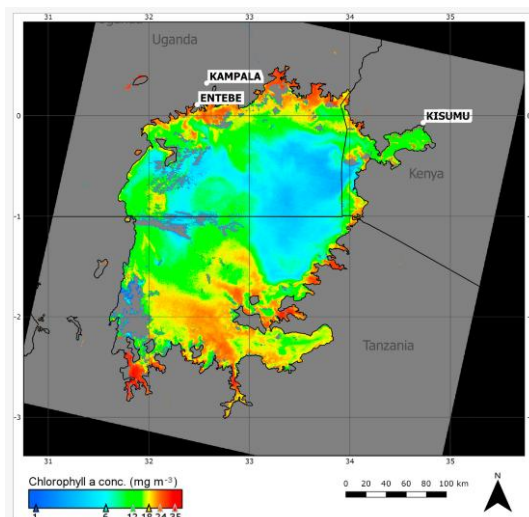
Měření toku řek pomocí UAV, v tomto případě konkrétně multikoptéry představuje novou technologii, která sleduje pohyb částic v reálném čase. UAV poskytují možnost měřit na těžko dostupných místech a poskytovat přesné informace při nízkých nákladech na měření.

Měření probíhá sledováním plujících částic vybavených LED diodami emitujícími infračervené záření. Tato data jsou zpracována a je stanoven pohyb každé částice a lze vypočítat mapu rychlosti toku řeky. Mapy toků řek slouží k tvorbě modelů, ty slouží k výpočtu předpovědi vodní hladiny. Tato data jsou využívána zejména při povodních, obdobích sucha, budování nové vodní infrastruktury, plánování výstavby vodních elektráren a přehrad [4].

2.8 Měření stavu a kvality vod

Jednou z metod pro měření kvality vod je metoda měření reflektance (odrazivosti) vodní hladiny pomocí dálkového průzkumu země. Reflektance vody oproti jiným povrchům vykazuje poměrně nízké hodnoty, s rostoucím obsahem jiných látek a příměsí její reflektance roste. Reflektance vody je snadno měřitelnou charakteristikou, která vypovídá o kvalitě vody. Tato metoda umožňuje rychlé zjištění stavu a kvality vody bez nutnosti provádět terénní odběry a laboratorní analýzy. Kvalitu měření je nutno ověřovat a kalibrovat, proto souběžně s leteckým snímkováním je prováděn sběr kontrolních dat

podpůrným pozemním měřením jako měření charakteristik vybraných povrchů pomocí spektrometru. I když je zpracování leteckých dat časově náročnější než pozemní měření, poskytuje letecké měření možnost a výhodu nasnímání rozsáhlého území nebo území těžko přístupného [5].



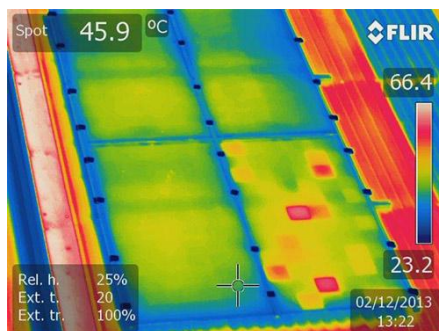
Obrázek 7 Mapa koncentrace chlorofylu v jezeře

2.9 Měření termální aktivity

Měření termální aktivity je realizováno pomocí termokamery, v dnešní době patří již k běžným technologiím a má široké možnosti uplatnění v mnoha odvětvích.

- Energetika – tepelné úniky, kontroly poškození elektráren, trafostanic a elektrického vedení
- Stavebnictví – skryté podpovrchové poškození staveb, měření tepelné náročnosti budov
- Zemědělství – identifikace podpovrchových poruch a drenážních systémů
- Ochrana přírody – monitoring tepelně aktivních skládek, počítání zvěře, identifikace zvěře před sklizní
- Krizové události – pátrání po osobách, hledání skrytých ložisek požárů [6]

V energetice představuje měření termokamerou pomocí UAV značnou úsporu času a financí při zjišťování příčin problémů například u fotovoltaických elektráren a elektrického vedení. U fotovoltaických elektráren lze touto metodou detekovat vadné panely, kdy na panelech dochází k rekombinaci elektronů a děr a k vzniku tzv. horkých míst, energie uvolněná při tomto je vyzařována ve formě tepla, přičemž rozdíl teplot na článcích může být i 50°C (obrázek 8). To vede k poškození panelu, tento defekt lze pomocí termokamery nesené UAV snadno a rychle detekovat [7]. Stejně tak lze detekovat přehřívání distribučních sítí způsobené přechodovým odporem v místě poškození nebo v místě spoje.

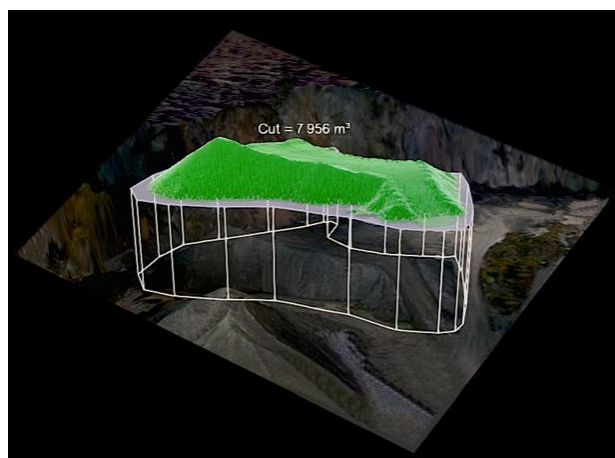


Obrázek 8 Termální snímek fotovoltaických panelů

Stejným způsobem jako v energetice probíhá měření ve všech ostatních možnostech aplikací této metody[8].

2.10 Výpočty objemů

Výpočet objemů materiálu je další pokročilou metodou využití UAV při měření za použití fotokamery nebo skeneru. Tato metoda se používá na místech jako skládky, v doly, lomy, dřevozpracující firmy a dalších podobných provozech, kde není jednoznačně možné jinými metodami zjistit aktuální objem materiálu, případně pomocí periodického měření lze určovat změny objemu materiálu za dané časové období. Při těchto měřeních vznikají 3D modely terénu skenerem, nebo dnes častěji pomocí snímání povrchu fotokamerou z více úhlů a vznikne digitální model povrchu.



Obrázek 9 Snímek objemového výpočtu množství kameniva v kamenolomu

2.11 Využití v archeologii

Pro archeologické využití jsou UAV využívány jako nosiče laserových snemů, infračervených, termálních, nebo multispektrálních kamer. Existuje řada objektů, které zanikly přirozenou cestou, důsledkem válek, zemědělskou činností nebo postupnou destrukcí. Z původních objektů zbudou nezřetelné terénní příznaky běžně neviditelné. Tyto objekty lze detekovat pomocí multispektrálního a termálního snímání při vhodných podmínkách na vegetační příznaky (zejména vlhkost půdy). Pokud se objekt nachází v místech s vegetací nebo v lese, je nutno využít technologie laserového skenování a pomocí softwaru eliminovat vegetaci a vytvořit pouze průběh terénu.

3 Snímače vhodné pro měření pomocí UAV

3.1 Termokamera

3.1.1 Optris PI200 / PI450

Kamery Optris řady PI jsou průmyslové termokamery společnosti Optris. PI200 pořizuje současně kromě termálního obrazu také obraz ve viditelné části spektra pro následnou jednodušší orientaci při vyhodnocování měření. Termální obraz je snímán s rozlišením 160 x 120 pixelů. Reálný obraz je snímán s rozlišením 640x480 pixelů. Kameru lze osadit jedním z nabízených objektivů v závislosti na požadované přesnosti a citlivosti měření. PI450 na rozdíl od PI200 disponuje větším optickým rozlišením, větší tepelnou citlivostí, ale menší frekvencí snímání. PI450 pořizuje pouze termální obraz s optickým rozlišením 382 x 288 pixelů. Stejně jako PI200 lze PI450 osadit objektivem v závislosti na požadované přesnosti a citlivosti měření [38].

	PI200	PI450
Spektrální rozsah	7,5 – 13 μm	7,5 – 13 μm
Teplotní rozsah	-20 °C – 1500 °C	-20 °C – 1500 °C
Teplotní citlivost	0,3 °C – 0,08 °C (dle objektivu)	0,06 °C – 0,04 °C (dle objektivu)
Rozlišení	160 x 120 px	382 x 288 px
Přesnost měření	$\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$	$\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$
Rozměry	45mm x 45mm x 62 mm	46mm x 56mm x 90 mm
Hmotnost	215 g	320 g
Napájení	USB, 5V	USB, 5V
Spotřeba energie	2,5 W	2,5 W
Max. vzdálenost od měřeného povrchu	100 m	100 m
Cena	88 300 Kč	105 900 Kč

Tabulka 2 Technické údaje PI200 / PI450 [38]



Obrázek 10 Termokamera PI200

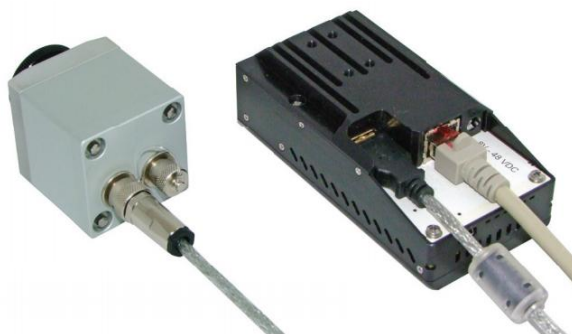
3.1.2 Optris PI Netbox

Kamery Optris PI mohou pracovat připojené přímo ke stolnímu počítači, nebo notebooku a údaje vyhodnocovat pomocí softwaru Optris PI Connect, toto řešení není vhodné k použití daných kamer pro měření na UAV nosiči. Optris PI Netbox umožňuje kamerám série PI pracovat samostatně. PI Netbox je svými malými rozměry, nízkou hmotností a

malou energetickou náročností vhodný pro umístění společně s kamerou na UAV nosič. PI Netbox disponuje 2 Gb SSD diskem a slotem pro paměťovou kartu pro ukládání snímků nebo videa [39].

Rozměry	113 mm x 57 mm x 39 mm
Hmotnost	280 g
Napájení	DC/8 – 48 V nebo Ethernet (PoE)
Spotřeba energie	9,5 W
Cena	42 800 Kč

Tabulka 3 Technické údaje Pi Netbox [39]



Obrázek 11 PI Netbox připojený ke kameře série PI [39]

3.1.3 Workswell WIRIS 640

WIRIS 640 je termokamera společnosti Workswell určená pro bezpilotní letouny. WIRIS 640 snímá současně termální obraz i obraz ve viditelném spektru. Kamera disponuje úložným prostorem o velikosti 32 Gb, který poskytuje možnost uložit 80 000 snímků, nebo 200 minut videa, úložný prostor lze rozšířit USB paměťovým diskem. Kamera disponuje také HDMI, SBus a CAN konektorem pro možnost připojení k modulu pro dálkové ovládání a přenos dat v reálném čase. Termální obraz je snímán s rozlišením 640 x 512 px, reálný obraz je snímán s rozlišením 1600 x 1200 px. Výrobce nabízí celou řadu objektivů pro různá měření (citlivost, výška letu). Ke kameře je možno připojit GPS modul pro přesnou informaci o poloze zachyceného snímku [40].

Spektrální rozsah	7,5 – 13,5 μm
Teplotní rozsah	-40 $^{\circ}\text{C}$ – 1500 $^{\circ}\text{C}$
Teplotní citlivost	0,05 $^{\circ}\text{C}$ – 0,03 $^{\circ}\text{C}$ (dle objektivu)
Rozlišení	640 x 512 px
Přesnost měření	$\pm 2^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$
Rozměry	135mm x 77mm x 69 mm
Hmotnost	400 g
Napájení	DC 6-36 V
Spotřeba energie	8 W
Max. vzdálenost od měřeného povrchu	Neuvedeno
Cena	270 000 Kč

Tabulka 4 technické údaje WIRIS 640 [40]



Obrázek 12 Workswell WIRIS 640 [40]

3.2 Spektrální kamera

3.2.1 Aisa KESTREL 10 / 16

Aisa KESTREL je hyperspektrální kamera Finského výrobce Specim navržená pro UAV nosiče. Kamera je nabízena ve dvou provedeních lišících se spektrálním rozsahem. Data jsou ukládána na vlastní 480 Gb pevný disk.

	Aisa KESTREL 10	Aisa KESTREL 16
Spektrální rozsah	400 – 1000 nm	600 – 1640 nm
Zorné pole	40°	21,7° / 40°
Rozlišení	až 2048 px (řádek)	Až 640 px (řádek)
Přesnost měření	±2%	±2%
Rozměry	280 x 300 x 180 mm	300 x 320 x 180 mm
Hmotnost	4,75 kg	5 kg
Spotřeba energie	< 41 W	< 46 W
Max. vzdálenost od měřeného povrchu	Neuvedeno	Neuvedeno
Cena	Neuvedena	Neuvedena

Tabulka 5 Technické údaje Aisa KESTREL 10 / 19 [45]



Obrázek 13 Aisa KESTREL 10 [45]

3.2.2 MQ022HG-IM-SM5X5-NIR

MQ022HG je spektrální kamera firmy Ximea. Svými kompaktními rozměry a malou hmotností je vhodná pro UAV snímkování. Napájení kamery a přenos dat je realizován pomocí USB rozhraní [50].

Spektrální rozsah	600 – 975 nm
Zorné pole	neuvedeno
Rozlišení	409 x 217 px
Rozměry	31 x 26 x 26 mm
Hmotnost	32 g
Přesnost měření	±2%
Napájení	USB 5 V
Spotřeba energie	1,6 W
Max. vzdálenost od měřeného povrchu	neuvedena
Cena	227 500 Kč

Tabulka 6 Technické parametry MQ022HG-IM-SM5X5-NIR [50]



Obrázek 14 MQ022HG-IM-SM5X5-NIR [50]

3.2.3 RedEdge

RedEdge je multisppektrální kamera primárně navržená pro UAV nosič pro použití v precizním zemědělství. Kamera snímá v 5ti spektrálních pásmech (500 nm, 550 nm, 660 nm, 730 nm a 790 nm). Snímky jsou ukládány na SD kartu. Kamera vyžaduje externí napájení a disponuje možností připojení GPS modulu a sériovým portem pro připojení k řídicí jednotce UAV.

Spektrální rozsah	550 – 790 nm
Zorné pole	47,2°
Rozlišení	1280 x 960 px
Rozměry	121 x 66 x 46 mm
Hmotnost	150 g
Napájení	DC 5 V
Spotřeba energie	4 W
Max. vzdálenost od měřeného povrchu	120 m (doporučeno)
Cena	127 800 Kč

Tabulka 7 Technické parametry RedEdge



Obrázek 15 RedEdge

3.3 Laserový skener

3.3.1 Riegl VQ-480-U / VUX-1UAV

Riegl VQ-480-U je laserový skener určený pro letecké laserové skenování objektů. Díky svým rozměrům a přijatelné váze je vhodný i pro umístění na UAV nosič. Měřená data lze přenášet do externího zařízení, nebo ukládat na USB úložiště. Laser je navržen pro mapování terénu, dopravní a inženýrské infrastruktury a archeologické využití [41].

Riegl VUX-1UAV je laserový skener vyvinutý pro použití ke skenování terénu pomocí UAV. Disponuje 240 Gb pevným diskem. Oproti skeneru RIEGL VQ-480-U má poloviční hmotnost, větší přesnost a větší zorné pole [42].

	VQ-480-U	VUX-1UAV
Zorné pole	60°	330°
Přesnost	25 mm	5 mm
Rozměry	347,5 mm x 183 mm	227mm x 209 mm x129 mm
Hmotnost	7,5 kg	3,75 kg
Napájení	DC 12-32 V	DC 11-32 V
Spotřeba energie	55 W	60 W
Vzdálenost od měřeného povrchu	10 m – 750 m	3 m – 350 m
Cena	Neuvedena	6,2 mil. Kč*

Tabulka 8 Technické údaje Riegl VQ-480-U / VUX-1UAV [41][42]

*Cena kompletního systému včetně software, GPS navigačního systému, 3 denního školení a roční technické podpory



Obrázek 15 Riegl VQ-480-U [41]



Obrázek 16 Riegl VUX-1UAV

3.4 Magnetometr

3.4.1 Scintrex CS-L

Scintrex CS-L je magnetometr malých rozměrů používaný k leteckým průzkumům oblastí s výskytem nerostů, ropy a plynu. Magnetometr se skládá ze senzorové hlavičky a elektroniky, tyto dvě části jsou propojeny kabelem. [44]

Rozměry (senzorová hlavička)	160 mm x 63 mm
Rozměry (elektronika)	280 mm x 53 mm x 38 mm
Hmotnost	1,8 kg
Zorné pole	75°
Měřitelný rozsah	15 000 – 105 000 nT
Přesnost	<2,5 nT
Napájení	DC 24 – 35 V
Spotřeba energie	15 W
Cena	300 000 Kč

Tabulka 9 Technické parametry Scintrex CS-L [44]



Obrázek 17 Scintrex CS-L [44]

3.5 Radar

Komerčně dostupné georadary určené k měření pomocí UAV prozatím nejsou k dispozici. Existují georadary pro podpovrchová měření tažené za automobilem, na speciálním vozíku, nebo pro nesení člověkem, antény těchto radarů ale musejí být

umístěny co nejbližší zkoumanému povrchu, jejich použití ve spojení s UAV tedy postrádá smysl. Možnost umístit georadar na UAV nosič představují georadary používané ve stavebnictví, jejich hmotnost je z hlediska nosnosti větších UAV přijatelná.

3.5.1 IBIS-FS Plus

IBIS-FS Plus je georadar primárně navržený pro stavebnictví ke kontrolám struktury staveb pozemním měřením. Díky své hmotnosti 30 kg je teoreticky možné tento georadar umístit na UAV nosič a provádět zkoumání terénu.

Vzdálenost od snímaného povrchu	Do 1 km
Maximální hloubka měření	500m
Přesnost	0,01 mm
Napájení	Baterie 12V 12 Ah
Výdrž na baterii	4 hodiny
Spotřeba energie	28 W
Hmotnost	30 kg
Cena	neuvedena

Tabulka 10 Technické údaje IBIS-FS Plus f43]



Obrázek 18 IBIS-FS Plus

3.6 Fotokamera

Pro fotogrammetrické snímání jsou používány běžné fotoaparáty ve velkém rozsahu rozlišení, hmotností a ceny. Nejčastěji používanými fotoaparáty jsou tzv. zrdaclovky a malé kompaktní kamery a fotoaparáty.

3.6.1 Nikon D7200

Nikon D7200 je moderní digitální zrdaclovka automatickým zaostřováním disponující možností připojení zařízení pro bezdrátový přenos informací a ovládání fotoaparátu. Snímky jsou ukládány na SD kartu. Kvalita snímků, potřebná vzdálenost od snímané oblasti a hmotnost celého zařízení je dána použitým objektivem, hmotnosti objektivů pro tento fotoaparát se pohybují v rozmezí 200 g-1500 g a ceny v rozmezí 5000 Kč – 30 000 Kč. Kromě napájení interní baterií je možné fotoaparát napájet z externího zdroje [46].

Rozlišení	Až 6000 x 4000 px
Zorné pole	dle objektivu
Rozměry	135 x 106 x 76 mm
Hmotnost	765 g + objektiv
Napájení	Li-ion baterie 7V 1950 mAh
Výdrž baterie	1100 snímků
Spotřeba energie	20 W (1 snímek/s)
Cena	28 000 Kč + objektiv

Tabulka 11 Technické parametry Nikon D7200 [46]



Obrázek 19 Nikon D7200 [46]

3.6.2 GoPro Hero 5

GoPro Hero 5 je zástupcem miniaturních víceúčelových zařízení pro pořizování videa a fotografií. Díky svým kompaktním rozměrům, malé hmotnosti a cenové dostupnosti je zařízení vhodné k umístění na menší UAV, nebo jako doplňková kamera k měření jinou technologií. GoPro disponuje možností připojení pomocí Wi-fi a bluetooth za účelem přenosu obrazu a možnosti ovládání. Zorné pole lze softwarově nastavit v menu kamery v rozmezí 90°- 170°, tímto nastavením je ovšem ovlivněno zkreslení obrazu, na menší zorné pole připadá menší zkreslení obrazu. K prodloužení provozní doby je možné kameru napájet externím napájením pomocí USB rozhraní. [47]

Rozlišení	Až 3840 x 2160 px
Zorné pole	90°- 170°
Rozměry	60 x 45 x 32 mm
Hmotnost	117 g
Napájení	Li-ion baterie 3,7 V 1220 mAh
Výdrž baterie	2 hodiny
Spotřeba energie	6 W
Cena	12 500 Kč

Tabulka 12 Technické parametry GoPro Hero 5 [47]



Obrázek 20 GoPro Hero 5 [47]

3.7 Srovnání parametrů

Typ	Termokamera			Spektrální kamera			
Označení	PI200	PI450	Wiris 640	KESTREL 10	KESTREL 16	MQ022HG	Red Edge
Spektrální rozsah	7,5 – 13 μm	7,5 – 13 μm	7,5 – 13,5 μm	400– 1000 nm	600 – 1640 nm	600 – 975 nm	550-790 nm
Teplotní rozsah	-20 °C – 1500 °C	-20 °C – 1500 °C	-40 °C – 1500 °C	-	-	-	-
Teplotní citlivost	0,3 °C – 0,08 °C (dle objektivu)	0,06 °C – 0,04 °C (dle objektivu)	0,05 °C – 0,03 °C (dle objektivu)	-	-	-	-
Rozlišení	160 x 120 px	382 x 288 px	640 x 512 px	až 2048 px (řádek)	Až 640 px (řádek)	409x217 px	1280x960 px
Zorné pole	Neuvedeno	neuvedeno	neuvedeno	40°	21,7° / 40°	neuvedeno	47,2 °
Přesnost měření	$\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$	$\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$	$\pm 2^\circ\text{C}$ nebo $\pm 2\%$	$\pm 2\%$	$\pm 2\%$	$\pm 2\%$	neuvedena
Rozměry	45mm x 45mm x 62 mm	46mm x 56mm x 90 mm	135mm x 77mm x 69 mm	280 x 300 x 180 mm	300 x 320 x 180 mm	31x26x26 mm	131x66x46 mm
Hmotnost	215 g	320 g	400 g	4,75 kg	5 kg	32 g	150 g
Napájení	USB, 5V	USB, 5V	DC 6-36 V	Neuvedeno	Neuvedeno	USB, 5 V	DC, 5V
Spotřeba energie	2,5 W	2,5 W	8 W	< 41 W	< 46 W	1,6 W	4 W
Max. vzdálenost od měřeného povrchu	100 m	100 m	Neuvedeno	Neuvedeno	neuvedeno	Neuvedena	Doporučeno 120 m
Cena	88 300 Kč	105 900 Kč	270 000 Kč	Neuvedena	neuvedena	227 500 Kč	127 800 Kč

Tabulka 13 Technické parametry vybraných termokamer a spektrálních kamer

Typ	Laserový skener		Magnetometr	Georadar
Označení	VQ-480-U	VUX-1UAV	CS-L	FS Plus
Zorné pole	60°	330°	75°	neuvedeno
Měřitelný rozsah	-	-	15 000 – 105 000 nT	Do hloubky 500 m
Přesnost	25 mm	5 mm	<2,5 nT	0,01 mm
Rozměry	347,5 mm x 183 mm	227mm x 209 mm x 129 mm	160 mm x 63 mm (hlavice) 280 mm x 53 mm x 38 mm (elektronika)	450x250x150 mm
Hmotnost	7,5 kg	3,75 kg	1,8 kg	30 kg
Napájení	DC 12-32 V	DC 11-32 V	DC 24 – 35 V	Baterie 12 V, 12 Ah
Spotřeba energie	55 W	60 W	15 W	28 W
Vzdálenost od měřeného povrchu	10 m – 750 m	3 m – 350 m	Neuvedena	Do 1 km
Cena	Neuvedena	6,2 mil. Kč	300 000 Kč	neuvedena

Tabulka 14 Technické parametry vybraných snímačů

Typ	Fotokamera	
Označení	Nikon D7200	Gopro Hero 5
Rozlišení	Až 6000 x 4000 px	Až 3840 x 2160 px
Zorné pole	dle objektivu	90°- 170°
Rozměry	135 x 106 x 76 mm	60 x 45 x 32 mm
Hmotnost	765 g + objektiv	117 g
Napájení	Li-ion baterie 7V, 1950 mAh	Li-ion baterie 3,7 V 1220 mAh
Výdrž baterie	1100 snímků	2 hodiny
Spotřeba energie	20 W (1 snímek/s)	6 W
Cena	28 000 Kč + objektiv	12 500 Kč

Tabulka 15 Technické údaje vybraných fotokamer

V tabulkách jsou uvedeny parametry jednotlivých snímačů. Přehled obsahuje snímače určené pro bezkontaktní měření pro zjištění potřebných veličin v geofyzikálním průzkumu. Snímači vhodnými k měření geofyzikálních veličin jsou termokamera, spektrální kamera, magnetometr, laserový skener, georadar a fotokamera. Existuje poměrně velké množství snímačů vhodných pro daná měření, přehled obsahuje typické zástupce daných kategorií, kdy se parametry snímačů v dané kategorii významně neliší. Většina snímačů potřebuje pro provoz externí DC napájení, žádné ze zařízení však vzhledem k příkonu celého UAV systému nepředstavuje problém v jeho napájení vhodným DC/DC měničem z palubní sítě, případně vlastní baterií. Vzhledem k rozměrům a hmotnostem jednotlivých zařízení by jejich umístění na UAV nosič nemělo představovat problém. Jedním z požadavků jednotlivých snímačů pro dostatečnou kvalitu snímaných dat je vzdálenost snímače od měřeného povrchu, udávané vzdálenosti nepředstavují pro UAV nosiče problém. Uvedené termokamery disponují podobnými parametry, liší se především pouze rozlišením a cenou, kamera s vyšším rozlišením je také dražší. Uvedené spektrální kamery pokrývají spektrum od 400 do 1640 nm. Laserové skenery se liší zorným polem, kdy VUX1-UAV disponuje zorným polem o velikosti 330° a je vyvinut pro měření pomocí UAV, jeho cena je ovšem vysoká. Alternativou k laserovým skenerům jsou fotokamery, které lze použít k fotogrammetrii, nedosahují však takové přesnosti jako laserové skenery. Uvedené fotokamery jsou zcela odlišné konstrukce, jedna představuje zástupce zrcadlovek, které pořizují snímky ve vysoké kvalitě, druhá je zástupce tzv. outdoorových kamer, jejich předností jsou malé rozměry a malá hmotnost při zachování dostatečné kvality a rozlišení snímků.

4 Letecký nosič

Existuje mnoho termínů pro označení těchto létajících prostředků jako Dron, UAV, RPAS nebo UAS. Termín „dron“ je nejčastěji veřejností spojován s vícemotorovým zábavním i výzkumným létajícím prostředkem, nazývaném také jako multikoptéra. Označení UAV (Unmanned aerial vehicle), RPAS (Remotely piloted aircraft system) a UAS (Unmanned aerial system) jsou používány odbornou veřejností a specialisty. Dnes jsou tato zařízení využívána širokou veřejností jako zábavní prostředky, specialisty pro letecké snímkování, filmařské účely, nebo zařazena ve výzbroji moderních armád.

Samotný model neboli letecký nosič je základním prvkem celého systému. Model nese snímkovací kameru, případně další měřicí zařízení. Základními požadavky pro letecký model jsou nosnost, vytrvalost, cestovní rychlost a dolet. UAV lze rozdělit podle mnoha kritérií. Záleží, zda jde o model s pevným křídlem, padákovým křídlem nebo rotujícími nosnými plochami. Dále podle toho, zda jde o model s motorovým pohonem nebo jde o bezmotorový model. Jestli je spojen se zemí pomocí lana, případně kabelu nebo je model bez fyzického spojení se zemí. Nosiči s fyzickým spojením se zemí pomocí lana a nosiči bez pohonu se v práci kvůli jejich omezeným možnostem využití a nepříliš hojnému využívání zabývat nebudou. Volnými leteckými nosiči, kterými se tato práce zabývá, jsou:

- Balon
- Vzducholod'
- Letoun
- Helikoptéra
- Multikoptéra

4.1 Balon

Balon je jeden z nejjednodušších nosičů. Princip letu balonu spočívá v jeho celkové výsledné hustotě, která musí být menší než hustota okolního vzduchu. Aby bylo nižší hustoty dosaženo, je plášť balonu naplněn plynem s hustotou nižší, než je hustota vzduchu v atmosféře. Jako vhodný plyn připadá v úvahu helium, neon a vodík. Právě vodík je pro tyto balony nejčastěji používaným plnicím plynem.

V současné době jsou balony používány jako nosič radiosondy pro měření atmosféry. Radiosonda měří údaje o teplotě, tlaku vlhkosti vzduchu a rychlosti a síle větru. Radiosonda tyto informace během stoupání odesílá k zemi k vyhodnocení. Balon s radiosondou dokáže dosáhnout výšek okolo 20 km, kde balon praskne. Výstupem tohoto měření je graf nazývaný aerologický výstup a data jsou používána ke sledování pohybu vzduchové hmoty a předpovědi počasí. V české republice jsou tyto balony používány českým hydrometeorologickým ústavem, balony jsou vypouštěny 3x denně ze stanic v Praze a Prostějově [22].



Obrázek 22 Balon vypouštěný českým hydrometeorologickým ústavem



Obrázek 21 Radiosonda

4.2 Vzducholod'

Princip letu vzducholodě je totožný s principem letu balonu, kdy celková hustota vzducholodě je menší než hustota okolního vzduchu. Plnicím médiem je v případě modelů vzducholodí nejčastěji helium. Na rozdíl od balonu je vzducholod' říditelná, říditelnost vzducholodí zajišťuje jeden, nebo více motorů s vektorováním tahu. Díky celkové ploše nosné části vzducholodě nedosahují vysokých rychlostí a jejich použití je limitováno rychlostí větru.

4.2.1 outdoor RC Blimp

Jedná se o výrobek společnosti Aero Drum Ltd. Vzducholod' je vyráběna v pěti verzích lišících se velikostí a s tím související nosností. Firma nabízí vzducholodě v délkách 5 až 12 metrů. Plnicím médiem je helium. Pohon obstarávají podle verze BLDC motory umístěné na otočných konzolách pro vektorování tahu, případně motor umístěný na svislé kýlové ploše kolmo ke směru letu pro otáčení vzducholodě kolem svislé osy a tlačným motorem na konci těla vzducholodě pro zajištění dopředného pohybu. Dalším ovládacím

prvkem jsou kormidla na ocasních plochách, která jsou ovládaná pomocí serv. Na obrázku 23 je zobrazena verze s pohonem jedním motorem s vektorizací okolo příčné osy, motorem ve svislé ocasní ploše a kormidly na ocasních plochách. Maximální rychlost větru pro let vzducholodě je 12 km/h [33].



Obrázek 23 Vzducholodě RC Blimp [33]

Rozměry (délka/průměr)	6 m / 1,7 m	10 m / 2,2 m
Objem nosné části	10 m ³	24 m ³
Nosnost	2 Kg	5 kg
Vytrvalost	40 – 60 minut	
Maximální rychlost	20 km/h	
Dolet	20 Km	
Dostup	neuveden	
Vzletová hmotnost	7 kg	15 kg
Cena	130 000 Kč	265 000 Kč

Tabulka 16 Technické údaje vzducholodi (6 m a 10m verze) [33]

4.3 Motorový letoun

Jedná se o modely s konstrukcí, uspořádáním a principem letu stejným jako běžné letouny. Vztlak potřebný k letu letounu vzniká na křídle při jeho pohybu ve směru letu. Pohon nejčastěji zajišťuje elektromotor, nebo spalovací motor s vrtulí v tlačném nebo tažném uspořádání. Start modelu probíhá dvěma způsoby, u menších modelů hodem z ruky, u větších je použita startovací rampa.

Výhody letounů s pevným křídlem jsou především dlouhý dolet, vytrvalost a v případě poruchy motoru možnost pokračovat v letu klouzavým letem s bezpečnou rychlostí klesání, letoun je tak schopen přistát bez významnějšího poškození.

Nevýhodou je potřeba neustálého dopředného pohybu. Letoun má omezené možnosti umístění měřicí a snímkovací aparatury, protože musí být dodržena poloha těžiště letounu, musí být měřicí nebo snímkovací zařízení umístěno v blízkosti těžiště, případně

musí být poloha těžiště upravena vhodným rozmístěním všech komponent a systémů letounu. Pohonná jednotka je u těchto modelů obvyklejší v tlačném uspořádání, tlačné uspořádání poskytuje možnost umístit měřicí a snímkovací zařízení do přídě letounu aniž by rotující vrtule ovlivňovala pozorovací úhel kamery.

Většina těchto modelů létá v automatickém režimu podle předem naplánované trasy letu, některé modely jsou vybaveny také manuálním ovládáním. Využití manuálního ovládání je vhodné zejména u startu a přistání. Automatické přistání takového modelu vyžaduje výběr vhodné rozlehlé plochy bez překážek, pro přistání modelu pomocí manuálního řízení postačuje plocha mnohem menší [1].

4.3.1 eBEE

eBEE je letoun typu delta vyráběný firmou senseFly. Letoun je poháněný BLDC motorem v tlačném uspořádání. Konstrukce letounu je z extrudovaného polypropylenu (EPP), který je dostatečně pevný, pružný a lehký v porovnání s polystyrenem. Letoun je schopen plně autonomního letu, kdy trasa letu je předem naplánována pomocí softwaru dodaného výrobcem. Díky nízké hmotnosti, malým rozměrům a rozdělitelnému křídlu je letoun nenáročný na přepravu. Start probíhá hodem z ruky, přistání je automatické do definovaného prostoru [28].



Obrázek 24 Letoun eBEE [28]

Vytrvalost	59 minut
Rozpětí	1,1 m
Cestovní rychlost	40 - 110 km/h
Dolet	100 km
Dostup	neuveden
Vzletová Hmotnost	1,1 kg
Nosnost	Cca 250 g
Pohonná jednotka	BLDC motor
Cena	450 000 Kč

Tabulka 17 Technické údaje letounu eBEE [28]

4.3.2 Aeromapper 300

Aeromapper 300 je kompletní systém primárně určený pro letecké mapování. Konstrukce letounu je z kombinace sklolaminátu a karbonu. Letoun je dodáván s kompletním systémem pro autonomní let a přenos obrazu. Vzlet probíhá hodem z ruky, přistání aktivací padákového systému a následného sestupu na padáku, nebo standardně za asistence pilota pomocí vysílačky. [51]

Vytrvalost	90 minut
Rozpětí	3 m
Cestovní rychlost	62 km/h
Dolet	100 km
Dostup	1370 m
Vzletová Hmotnost	5,35 kg
Nosnost	650 g
Pohonná jednotka	BLDC motor
Cena	400 000 Kč

Tabulka 18 Technické parametry Aeromapper 300 [51]



Obrázek 25 Aeromapper 300 [51]

4.3.3 Primoco

Primoco je bezpilotní letoun české výroby vyráběný firmou Primmoco UAV. Konstrukce letounu je z kompozitu, pohon zajišťuje spalovací motor v tlačné konfiguraci. Spalovací motor umožňuje oproti letounům s elektrickým pohonem větší vytrvalost. Letoun je schopen létat zcela samostatně, podle naprogramované trasy letu [30] [31].



Obrázek 26 Primoco [31]

Vytrvalost	10 h
Rozpětí	4,9 m
Dolet	1500 km
Dostup	3000 m
Cestovní rychlost	50 - 150 km/h
Maximální vzletová hmotnost	100 kg
Nosnost	až 50 Kg
Pohonná jednotka	Spalovací motor, 20 HP
Cena	neuvedena

Tabulka 19 Technické parametry Primoco [30] [31]

4.3.4 RQ-11 Raven

Raven je průzkumný bezpilotní letoun primárně navržen ve verzi RQ-11B pro vojenské průzkumné mise. Letoun je plně autonomní, startuje hodem z ruky a přistává na spodní část trupu. Konstrukce je uzpůsobena pro nesení kamery malých rozměrů a hmotnosti. Letoun je vyráběn společností Aero Vironment, která letoun nabízí k prodeji i běžným zákazníkům [49].

Vytrvalost	90 minut
Rozpětí	1,4 m
Dolet	120 km
Dostup	4200 m
Cestovní rychlost	32-81 km/h
Maximální vzletová hmotnost	1,9 kg
Nosnost	170 g
Pohonná jednotka	Elektromotor35
Cena	875 000 Kč

Tabulka 20 technické parametry RQ-11 Raven [49]



Obrázek 27 Raven RQ-11 [49]

4.3.5 Penguin B

Penguin B je profesionální UAV model kompozitní konstrukce vyráběný firmou UAV factory. Zvláštností tohoto UAV je nestandardní konstrukce ocasních ploch ve tvaru obráceného V. Pohonnou jednotku tvoří 2taktní spalovací motor s vrtulí v tlačném uspořádání. V kombinaci se 7,5litrovou palivovou nádrží a elektrickým generátorem disponuje Penguin B vytrvalostí přes 20 hodin. Letoun je uzpůsoben ke startům jak ze země, tak ke startům ze startovací rampy nebo jedoucího automobilu [32].



Obrázek 28 Penguin B [32]

Vytrvalost	Až 20 h
Rozpětí	3,3 m
Cestovní rychlost	47 - 130 km/h
Dolet	Až 1000 km
Dostup	neuveden
Maximální vzletová hmotnost	21,5 kg
Nosnost	až 10 Kg
Pohonná jednotka	Spalovací motor, 28 ccm, 2,5 HP
Cena	440 000 Kč

Tabulka 21 Technické údaje Penguin B [32]

4.4 Letoun s padákovým křídlem

Výhodou oproti konstrukcím s pevným křídlem je jednoduchý transport modelu. Padáková křídla obecně dosahují nižších rychlostí, nižší rychlost je výhodná například při snímkování z malých výšek. Nevýhodou této konstrukce je oproti letounům s pevným křídlem díky velké ploše padáku větší náchylnost na vítr.

4.4.1 PIXY UAV

Model padákového křídla vyráběn francouzskou firmou Philae Concept. Model je primárně určen pro osazení fotoaparátu nebo kamery, lze ale na model umístit jakékoliv zařízení až do hmotnosti 6 kg. Model je ovládán pilotem pomocí vysílačky, pro účely přesné navigace je model vybaven GPS modulem, aktuální poloha je vysílána do pozemní stanice. Výhodou je, že díky malé pádové rychlosti modelu postačí ke vzletu a přistání vhodná plocha o délce 5 metrů. Výrobce nabízí dvě varianty lišící se plochou padákového křídla, varianta s větší plochou křídla umožňuje zvětšení nosnosti ze 4 kg na 6 kg [23] [24].

Vytrvalost	1 h
Rozpětí	2,95 m
Dolet	25 km
Dostup	500 m
Cestovní rychlost	15-35 km/h
Prázdná hmotnost	5,6 kg
Nosnost	až 6 kg
Pohonná jednotka	Spalovací motor, 26 ccm
Cena	140 000 Kč

Tabulka 22 technické parametry PIXY UAV



Obrázek 29 PIXY UAV [24]

4.5 Vrtulník

Vrtulník, také označován jako helikoptéra je letadlo těžší vzduchu. Vztlak potřebný k letu vzniká na motorem poháněných rotujících nosných plochách (rotoru). Vrtulník je schopný kolmého startu a přistání. Možnost kolmého startu a přistání a možnosti visení nehybně v prostoru dává vrtulníkům uplatnění menších a prostorově komplikovanějších oblastech. V porovnání s letadlem s pevnými nosnými plochami má vrtulník díky rotujícím nosným plochám větší spotřebu energie a tedy i menší vytrvalost

Rotor při rotaci vytváří kromě vztlaku potřebného k udržení stroje ve vzduchu také tah, pomocí kterého se vrtulník pohybuje v horizontálním směru. Směr tahu u jednomotorových vrtulníků je ovládán cyklikou. Je potřeba kompenzovat taky točivý moment, který rotor při rotaci vytváří. Točivý moment je nejčastěji kompenzován vyrovnávacím rotorem. Další možností kompenzace reakčního momentu je konstrukce vrtulníku se dvěma protiběžnými rotory. Tyto dva rotory se otáčejí v opačném smyslu a reakční momenty jsou navzájem vyrušovány. Vrtulníky této konstrukce nepotřebují vyrovnávací rotor, změna směru letu je realizována rozdílnými rychlostmi rotace jednotlivých rotorů.

4.5.1 Scout B1-100

Scout B1-100 je autonomní jednomotorový vrtulník vyvinutý pro profesionální geofyzikální měření a snímkování. Konstrukce vrtulníku je z hliníku a uhlíku. Modulární konstrukce umožňuje jednoduchou údržbu a použití pro nejrůznější aplikace. Vrtulník je poháněn benzinovým spalovacím motorem, který díky 10 litrové palivové nádrži disponuje vytrvalostí 90 minut [25].



Obrázek 30 Scout B1- 100 [25]

Vytrvalost	90 min (10l paliva)
Průměr hlavního rotoru	3,2 m
Prázdná hmotnost	50 kg
Maximální vzletová hmotnost	75 kg
Nosnost	18 kg
Dolet	80 km
Maximální rychlost	55 km/h
Pohonná jednotka	Spalovací motor, 100 ccm, 14 kW
Cena	neuvedena

Tabulka 23 Technické parametry vrtulníku Scout B1-100 [25]

4.5.2 PAIS H-1000

Pais H-1000 je helikoptéra japonské firmy Pentax navržená pro geodetické a geofyzikální měření. Konstrukce helikoptéry je převážně z kompozitu a hliníkové slitiny. Díky použití 4-listého rotoru disponuje helikoptéra vysokou nosností při menším průměru rotoru. Výrobce dodává helikoptéru jako plně autonomní, vybavenou modulem autopilota, pozičního systému a pozemní jednotky pro plánování a vyhodnocování letu [34].



Obrázek 31 Pais H-1000

Vytrvalost	50 min
Průměr hlavního rotoru	1,9 m
Prázdná hmotnost	9 kg
Maximální vzletová hmotnost	30 kg
Nosnost	15 kg
Dolet	50 km
Maximální rychlost	85 km/h
Pohonná jednotka	BLDC motor
Cena	neuvedena

Tabulka 24 Technické parametry Pais H-1000 [34]

4.5.3 Yamaha R-MAX

Yamaha R-MAX je bezpilotní helikoptéra primárně určena jako nosič měřicích zařízení a pro aplikaci postřiků na zemědělské plodiny. Helikoptéru je možno ovládat jak pomocí vysílače, tak realizovat autonomní let.



Obrázek 32 Yamaha R-MAX [48]

Vytrvalost	1 hodina
Průměr hlavního rotoru	3,115 m
Prázdná hmotnost	64 kg
Maximální vzletová hmotnost	94 kg
Nosnost	28 kg
Dolet	40 km
Maximální rychlost	40 km/h
Pohonná jednotka	dvoutaktní motor 246 ccm, 15,4 kW
Cena	2,5 mil Kč

Tabulka 25 Technické údaje Yamaha R-MAX [48]

4.6 Multikoptéra

Pojmem multikoptéra je označován vrtulník s více než dvěma rotory. Konstrukci multikoptéry tvoří tělo, ke kterému jsou uchycena ramena, ta slouží k uchycení motorů, a podvozek. Většina multikoptér používá na rozdíl od vrtulníků k vytváření vztlaku vrtule s pevným stoupáním a (bez možnosti měnit úhel náběhu rotorových listů), díky danému počtu rotorů lze multikoptéru ovládat změnou otáček jednotlivých rotorů. Díky tomu není potřeba, aby každý rotor disponoval cyklickou. Každý motor má vlastní regulátor otáček,

který je připojen k řídicí jednotce, která mění otáčky jednotlivých motorů v závislosti na požadavku změny směru letu. Větší počet rotorů dává multikoptérám větší bezpečnost díky možnosti přistát s jedním nefunkčním rotorem (minimálně 6 rotorový systém) a také větší celkovou stabilitu pohybu ve vzduchu. Multikoptéra, stejně jako vrtulník má možnost kolmého startu a visení nehybně ve vzduchu. V porovnání s dvurotorovým vrtulníkem je multikoptéra konstrukčně a uživatelsky jednodušší [1] [6].

Díky rotujícím nosným plochám, kdy všechen vztlak je vytvářen na rotorech jsou multikoptéry stejně jako vrtulníky energeticky náročnější než letouny s pevným křídlem, s tím souvisí jejich menší vytrvalost. Využití multikoptér, stejně jako u vrtulníků je vhodné především pro menší plochy a díky možnosti nehybně viset ve vzduchu poskytují možnost detailněji mapovat daný prostor.

Nejobvyklejší konstrukce jsou se sudým počtem rotorů, názvosloví jejich označování vychází z latinských číslovek, obecně se můžeme setkat s multikoptéry označovanými dle počtu rotorů:

- Kvadrokoptéra 4 rotory
- Hexakoptéra 6 rotorů
- Oktokoptéra 8 rotorů

Stejně jako u helikoptér vzniká při rotaci rotorů točivý moment, ten je kompenzován opačným smyslem rotace poloviny rotorů.

4.6.1 DJI S1000

DJI S1000 je profesionální oktokoptéra karbonové konstrukce. Konstrukce z karbonu poskytuje vysokou pevnost a nízkou hmotnost. Pohon oktokoptéry zajišťuje 8 BLDC motorů, každý o výkonu 500 W. Motory jsou umístěny na karbonových ramenech, která jsou k základní desce oktokoptéry upevněna pod úhlem 8° a natočena o 3°, tyto změny oproti klasické konstrukci, kdy ramena jsou uchycena k základní desce v jedné rovině poskytují vyšší stabilitu a větší flexibilitu při otáčení.

DJI S1000 disponuje konstrukcí podvozku, která umožňuje sklopení do stran. Díky tomu této konstrukci podvozku a nízko položenému nosiči získává mnohem větší zorný úhel bez překážek. V závislosti na požadované konfiguraci při hmotnosti prázdného stroje 4,4 Kg lze DJI S1000 napájet šestičláňkovou li-pol baterií o kapacitě 10 000 – 20 000 mAh. Maximální vzletová hmotnost DJI S1000 v závislosti na konfiguraci může dosáhnout až 11 Kg, tedy nosnosti až 6,6 Kg. Výrobce udává vytrvalost 15 min při použití 15000 mAh akumulátoru a vzletové hmotnosti 9,5 Kg [26].

Vytrvalost	15 min (15000 mAh, 9,5 Kg)
Průměr	1,4 m
Maximální rychlost	80 km/h
Maximální vzletová hmotnost	11 kg
Maximální nosnost	6,6 Kg
Dolet	20 km
Pohonná jednotka	8x BLDC motor 500 W
Cena	148 000 Kč

Tabulka 26 Technické parametry DJI S1000



Obrázek 33 Multikoptéra DJI S1000

4.6.2 Matrice 100

Matrice 100 je kvadrokoptéra výrobce DJI pro profesionální a zábavní využití. Konstrukce převážně z karbonu poskytuje vysokou pevnost při nízké hmotnosti stroje. Kvadrokoptéra je nabízena v několika verzích výbavy od verze KIT, kdy jde pouze o tělo multikoptéry a pohonná jednotka s elektronikou je osazena uživatelem dle jeho požadavků, až po kompletní systém vybavený komponenty DJI. Společně s možností změny úhlů natočení jednotlivých ramen pro zrychlení odezvy na změnu polohy multikoptéry je Matrice 100 univerzálním leteckým nosičem. V závislosti na požadované délce letu a hmotnosti měřicích zařízení lze multikoptéru osadit až dvěma bateriemi (LiPo 6S, 5700 mAh, 676 g). Dle konfigurace se letová doba multikoptéry pohybuje mezi 19 až 40 minutami [35].

Vytrvalost	20 min (5700 mAh, 500 g zatížení)
Průměr (mezi osami motorů)	0,98 m
Maximální rychlost	80 km/h
Maximální vzletová hmotnost	3,6 kg
Maximální nosnost	1,25 Kg
Dolet	25 km
Pohonná jednotka	4x BLDC motor
Cena	79 900 Kč

Tabulka 27 Technické parametry DJI matrice 100 [35]



Obrázek 34 DJI matrice 100 [35]

4.7 Srovnání parametrů

Typ	Letoun s pevným křídlem					Padákové křídlo	Vzducholoď	
Označení	eBEE	Aromapper 300	Primoco	Raven RQ-11	Penguin B	PIXY UAV	RC Blimp 6	RC Blimp 10
Vytrvalost	59 minut	90 minut	10 h	90 minut	20 h	60 minut	40 – 60 minut	
Rozpětí (délka)	1,1 m	3 m	4,9 m	1,4 m	3,3 m	2,95 m	(6 m)	(10 m)
Cestovní rychlost	40-110 km/h	62 km/h	50 - 150 km/h	32-81 km/h	47 - 130 km/h	15-35 km/h	Až 20 km/h	
Dolet	100 km	100 km	1500 km	120 km	Až 1000 km	25 km	20 km	
Dostup	neuveden	1370 m	3000 m	4200 m	neuveden	500 m	Neuveden	
Vzletová Hmotnost	1,1 kg	5,35 kg	100 kg	1,9 kg	21,5 kg	5,6 kg	7 kg	15 kg
Nosnost	Cca 250 g	650 g	až 50 Kg	170 g	až 10 Kg	až 6 kg	2 kg	5 kg
Pohonná jednotka	BLDC motor	BLDC motor	Spalovací motor	BLDC motor	Spalovací motor	Spalovací motor	BLDC motor	
Cena	450 000 Kč	400 000 Kč	neuvedena	875 000 Kč	440 000 Kč	140 000 Kč	130 000 Kč	265 000 Kč
Typ	Helikoptéra			Multikoptéra				
Označení	Scout B1-100	Pais H-1000	Yamaha R-MAX	DJI S1000	Matrice 100			
Vytrvalost	90 min (10l paliva)	50 minut	60 minut	15 minut	20 minut			
Průměr hlavního rotoru	3,2 m	1,9 m	3,115 m	1,4 m	0,98 m			
Vzletová hmotnost	75 kg	30 kg	94 kg	11 kg	3,6 kg			
Nosnost	18 kg	15 kg	28 kg	6,6 kg	1,25 kg			
Dolet	80 km	50 km	40 km	20 km	25 km			
Maximální rychlost	55 km/h	85 km/h	40 km/h	80 km/h	80 km/h			
Pohonná jednotka	Spalovací motor	BLDC motor	Spalovací motor	8x BLDC motor	4x BLDC motor			
Cena	neuvedena	neuvedena	2,5 mil Kč	148 000 Kč	79 900 Kč			

Tabulka 28 Parametry jednotlivých leteckých nosičů

V tabulce je přehled některých běžně dostupných UAV prostředků vhodných pro použití jako nosiče snímačů pro geofyzikální měření. Přehled nemohl obsáhnout všechny komerčně dostupné UAV prostředky, jelikož v současné době existuje velké množství těchto prostředků, jsou vybráni typičtí zástupci jednotlivých kategorií. Uvedené nosiče disponují nosností v rozmezí od 170g až do 100kg a jsou schopny nést kterýkoliv ze snímačů uvedených v kapitole snímačů. Mezi jednotlivými nosiči jsou velké rozdíly ve vzletových hmotnostech, všechny nosiče přesto lze legálně provozovat v ČR po schválení ÚCL. Každý typ UAV má své výhody a nevýhody.

	Výhody	Nevýhody
Letoun s pevným křídlem	Velký dolet	Vyšší cena Velký prostor pro přistání Potřeba neustálého pohybu
Letoun s padákovým křídlem	Cena Malá minimální rychlost	Náchylnost na silný vítr
Vzducholoď	Možnost stát na místě	Velké rozměry Nutnost plnit heliem
Helikoptéra	Možnost stát na místě	Vysoká cena
Multikoptéra	Cena	Malá vytrvalost

Tabulka 29 Výhody a nevýhody jednotlivých typů UAV

Díky nutnosti neustálého dopředného pohybu a poměrně velké vytrvalosti se letouny jeví být vhodné pro plošné snímkování a měření rozsáhlejších území, pro jejich vzlet a přistání je zapotřebí dostatečně velká plocha, absence takové plochy v blízkosti měřeného území vyžaduje start UAV z plochy vzdálenější, přeletem je zkrácena doba měření. V místech bez plochy vhodné pro vzlet a přistání letounu je potřeba UAV prostředků s možností vertikálního vzletu a přistání, touto možností disponují vzducholoď, helikoptéry a multikoptéry. Tyto UAV jsou také schopny letět velmi malou rychlostí, případně nehybně stát v prostoru, tato vlastnost je důležitá pro detailní měření nebo snímkování malých oblastí nebo detailů. Vzducholoď je díky své velké ploše nosné části limitována rychlostí větru, které je schopna odolávat, další nevýhodou je její velikost po naplnění heliem, pro přepravu je nutno helium vypustit, nebo zajistit dopravu vhodným dopravním prostředkem. Nejideálnějšími nosiči se jeví být systémy s rotujícími nosnými plochami, jejich nosnost je vzhledem k hmotnostem většiny snímačů dostatečná. V této kategorii disponují větší nosností helikoptéry, jejich cena je ovšem v porovnání s cenami multikoptér velmi vysoká. Vysoká cena je dána jejich velikostí a konstrukční náročností. Nejdostupnějšími UAV nosiči jsou díky jejich velké oblíbenosti a relativně jednoduché konstrukci právě multikoptéry, které disponují velkým rozsahem rychlostí, dostatečnou nosností, jednoduchou možností přepravy, disponují ale malou vytrvalostí, tento nedostatek lze kompenzovat vyšším počtem letů po výměně pohonného akumulátoru.

5 Provoz UAV v ČR – legislativa

Civilní využívání vzdušného prostoru a provoz letadel podléhá v ČR zákonu č. 49/1997 Sb. o civilním letectví. Dle § 2 odstavce 2 se pro účely tohoto zákona nepovažuje za letadlo model letadla, jehož maximální vzletová hmotnost nepřesahuje 20 kg. Provoz modelů letadel tak podléhá především občanskému zákoníku a z něj vyplývající odpovědnost pilota. Dne 1. Března 2012 vešel v platnost Doplněk X předpisu L2 dle ustanovení §102 odstavce 2 zákona o civilním letectví, který zavedl pojem „bezpilotní letadlo“, pro jehož provoz stanovil podmínky přibližující se zvyklostem v pilotovaném letectví a velmi striktně tak rozdělil modelářské aktivity od komerčního využití bezpilotních leteckých prostředků [1].

Doplněk X dělí bezpilotní prostředky na prostředky pilotované výhradně za dohledu pilota a mimo dohled pilota, podle způsobu využití na prostředky určené k rekreačním a sportovním účelům, leteckým činnostem pro vlastní potřebu a leteckým pracím. Doplněk X dále dělí bezpilotní letadla do kategorií podle vzletových hmotností, konkrétně <0,91 kg, 0,91 kg – 7 kg, 7kg – 20 kg a >20kg [36]. Doplněk X dále vymezuje možnosti provozování UAV ve vzdušném prostoru ČR. Pro jednotlivé kategorie plynou určitá omezení a pravidla, uvedená v tabulce 18.

Doplněk X definuje:

- *Bezpilotní letadlo* - Letadlo určené k provozu bez pilota na palubě.
- *Autonomní letadlo* - Bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení.
- *Model letadla* - Letadlo, které není schopno nést člověka na palubě, je používáno pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno zařízením umožňujícím automatický let, a které, v případě volného modelu, není dálkově řízeno jinak, než za účelem ukončení letu nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízeno pilotem v jeho vizuálním dohledu [36].
- *Bezpilotní systém* - Systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakýchkoliv dalších prvků nezbytných k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více [36].

S výjimkou, kdy ÚCL povolí jinak, musí jakékoliv UAV bez ohledu na kategorii musí být po celou dobu letu provozováno v přímém dohledu pilota takovým způsobem a do takové vzdálenosti aby pilot během letu mohl udržovat trvalý kontakt s UAV, sledovat překážky a vyhodnocovat dohlednost bez použití vizuálních pomůcek vyjma dioptrických brýlí.

Let bezpilotního prostředku smí být prováděn pouze takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí. Za provedení bezpečného letu, a to včetně předletové kontroly a přípravy je odpovědná osoba, která model řídí, případně která model vypustila. Bezpilotní letadlo

s maximální vzletovou hmotností přesahující 0,91 kg musí být vybaveno vestavěným bezpečnostním systémem, který při poruše provede ukončení letu (letadlo začne po ztrátě signálu klesat, přeletí nad místo vzletu a začne klesat, nebo je aktivovaný záchranný padákový systém). [36]

Let bezpilotního letadla smí být prováděn jen v následujících prostorech s následujícími omezeními:

- Ve vzdušném prostoru třídy G
Prostor třídy G sahá od země do výšky 300 metrů, mimo okrsky řízených letišť (CTR, TMA), letištní provozní zóny neřízených letišť a okrsky vojenských letišť (MCTR, MTMA).
- V letištní provozní zóně ATZ neřízeného letiště na základě podmínek stanovených provozovatelem letiště a koordinace s letištní letovou informační službou. Let bezpilotního letadla s vzletovou hmotností do 0,91 kg lze provádět i bez koordinace, avšak pouze do výšky 100 metrů nad zemí.

Letištní provozní zóna ATZ je definována vertikálně od zemského povrchu do výšky 4000 ft nad mořem (1200 m) a horizontálně kružnicí o poloměru 3 NM (5,5 km) od vztažného bodu letiště (obvykle střed letiště).

- V okrsku řízeného letiště (CTR,TMA) do výšky 100 metrů nad zemí a ve vzdálenosti minimálně 5,5 km od vztažného bodu letiště. Let bezpilotního letadla s vzletovou hmotností do 0,91 kg lze provádět stejně jako v ATZ i bez koordinace, avšak pouze do výšky 100 metrů nad zemí i v menší vzdálenosti než 5,5 km, avšak mimo ochranná pásma letiště. Let v ochranném pásmu letiště povolen pouze po schválení ÚCL, koordinací se službou řízení provozu a vybavením odpovídačem sekundárního radaru.

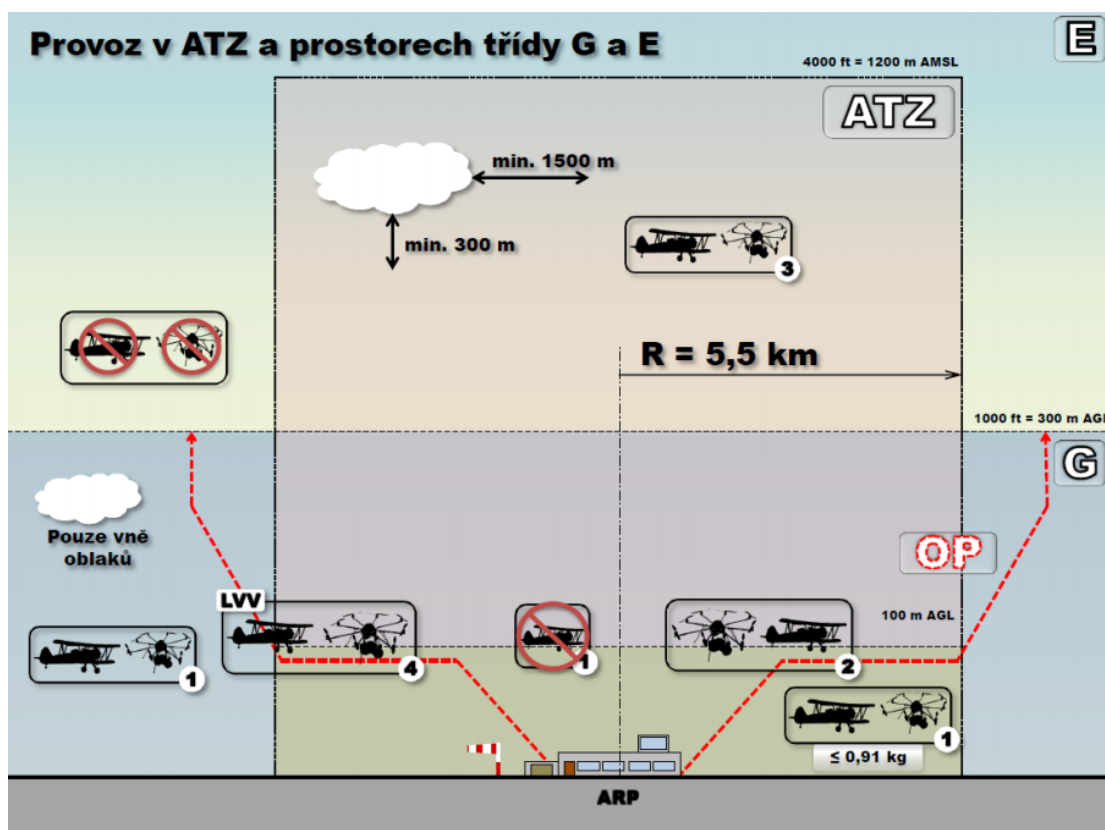
Řízený okrsek CTR je vzdušný prostor v těsném okolí letiště s řízeným provozem, který slouží k ochraně provozu na letišti. Vertikálně prostor sahá do země do určité výšky a určité vzdálenosti, horní a horizontální hranice je definována pro každé letiště jinak v závislosti na velikosti letiště (hranice prostorů uvedeny v ICAO mapě). Na řízený okrsek obvykle navazuje jak horizontálně tak vertikálně koncová řízená oblast TMA, která slouží k ochraně přibližujících se a odlétajících letadel (hranice prostorů uvedeny v ICAO mapě).

Provoz bezpilotních prostředků v ostatních prostorech jako jsou prostory zakázané (LKD), nebezpečné (LKD), omezených (LKR), rezervovaných (TRA) a vyhrazených (TSA) zakázáno.

Pro každý let avšak platí minimální následující minimální vzdálenosti:

- 50 metrů horizontálně při vzletu a přistání od osob vyjma pilota a osob do provozu zapojených.
- 100 metrů horizontálně za letu od jakékoliv osoby, prostředku nebo stavby, které nejsou součástí provozu.
- 150 metrů horizontálně od hustě osídleného prostoru.

Pilot má povinnost zaznamenávat informace o letu do deníku letadla. Informace musí obsahovat datum letu, jméno pilota, označení letadla, místo vzletu a přistání, dobu letu, druh letové činnosti a případné události související s bezpečností daného letu. Zaznamenávané informace jsou skoro totožné s těmi, které do deníku zaznamenávají piloti běžných letadel.



Obrázek 35 provoz v ATZ a prostorech třídy G a E [36]

Další pravidla a omezení:

- Let bezpilotního letadla smí být prováděn jen vně oblaků ve vzdušném prostoru třídy G, v ostatních prostorech v minimální horizontální vzdálenosti od oblaků 1500 m a vertikálně 300m.
- Bepilotní letadlo nesmí být bez povolení ÚCL provozováno při současném pohybu pilota pomocí technického zařízení (automobil apod.).
- Bepilotní letadlo nesmí být použito k přepravě nebezpečných látek vyjma provozních náplní v množství přiměřeném účelu letu.
- Bepilotní letadlo nesmí být použito ke shazování předmětů za letu vyjma leteckých veřejných vystoupení a soutěží.
- K pohonu bezpilotního letadla nesmí být použit pulzační nebo raketový motor s výjimkou využití pouze za účelem provedení vzletu.
- Bepilotní letadlo musí být označeno ohnivzdorným identifikačním štítkem, který musí obsahovat jméno a telefonní číslo provozovatele a poznávací značku, pokud je přidělena.
- Povinnost hlásit události spojené s provozem letadla s provozním povolením, za událost se považuje letecká nehoda, incident, nebo vážný incident.

5.1 Získání povolení

Pro provoz UAV ke komerčním, experimentálním a výzkumným účelům je zapotřebí získat potřebná povolení a absolvovat přezkoušení na úřadu pro civilní letectví. Konkrétně:

- Evidence pilota
- Evidence letadla bez pilota + případné vydání poznávací značky
- Povolení k létání
- Přezkoušení
- Povolení k provozování leteckých prací nebo leteckých činností pro vlastní potřebu
- Mít sjednané pojištění odpovědnosti za škody způsobené provozem letadel

Evidence pilota, bezpilotního letadla a povolení k létání probíhá na úřadu pro civilní letectví vyplněním příslušných formulářů, ke kterým je potřeba doložit barevnou fotografii letadla, blokové schéma palubní elektroinstalace, provozní příručku, osvědčení o uzavřeném pojištění odpovědnosti, postupy zajišťující bezpečnost systému a doklady o vlastnictví bezpilotního letounu. Tento úkon je zpoplatněn správním poplatkem 4000 Kč. Úřad pro civilní letectví následně letadlo i pilota zaeviduje a je vystaveno omezené povolení (omezeny limity vzdáleností a výška letu), které umožňuje získat pilotům potřebné pilotní dovednosti před praktickou zkouškou.

Přezkoušení se skládá z kontroly technického stavu letadla, ověření letových vlastností při maximální vzletové hmotnosti, kontroly funkce bezpečnostních systémů, praktického a teoretického přezkoušení. Toto přezkoušení je zpoplatněno správním poplatkem ve výši 4000 Kč. Úřad následně vydá potřebná povolení ve vzdušném prostoru ČR, není ale povoleno provozovat letecké práce.

Vydání povolení k leteckým pracím se vztahuje na podnikatelský subjekt a jde o proces skládající se převážně z formálních kroků, kromě vyplnění žádosti je potřeba na ÚCL dodat doklady o existenci podnikatelského subjektu žadatele, doklady o odborné praxi (postačuje čestné prohlášení), doklady o dosaženém vzdělání, výpis z rejstříku trestů všech osob, prohlášení o finanční způsobilosti, letadlový park, seznam pilotů a provozní příručku. Provozní příručka popisuje obecná ustanovení, část o provozu letadel, směrnici pro jednotlivé druhy leteckých prací, požadavky na výcvik a kvalifikace personálu, postupy pro údržbu a bezpečnostní postupy. Vydání povolení k provozování leteckých prací je zpoplatněno poplatkem ve výši 10 000 Kč [6].

ř.	maximální vzletová hmotnost	≤ 0,91 kg		> 0,91 kg a < 7 kg		7 – 20 kg		> 20 kg		bezpilotní letadlo provozova- né mimo dohled pilota
-	účel použití požadavek	rekrea- čně spor- tovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	rekrea- čně spor- tovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	rekreačně sportovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	rekreačně sportovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	
1	evidence letadla	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
2	evidence pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
3	praktický a teoretický test pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
4	povolení k létání	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
5	povolení k provádění LP a LČPVP	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze
6	označení UA: ID štítek / ID štítek + pozn. značka	ne / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ano
7	min. ve vzdálenosti (m): vzlet, přistání / osoby, stavby / osídlený prostor	bez- pečná	bezpečná	bez- pečná	bezpečná	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150
8	pojištění: běžný provoz / LVV (mil. Kč)	ne / 0,25	dle nař. č. 785/2004 ¹	ne / 1	dle nař. č. 785/2004 ¹	ne / 3	dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹
9	dozor	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ne
10	„failsafe“ systém	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
11	provozní příručka UAS	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne
12	hlášení událostí	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano

Tabulka 30 Omezení provozu a použití jednotlivých UAV [36].

6 Závěr

V první části práce jsou popsány v současné době používané metody geofyzikálního průzkumu terénu, některé z uvedených metod měření lze provádět pouze pozemním měřením, ale některé lze provádět právě za použití UAV leteckého nosiče. Dále je zpracován přehled dnes již pomocí UAV poměrně běžně používaných metod úzce souvisejících s geofyzikálním průzkumem.

Je zpracován přehled a porovnány parametry komerčně dostupných snímačů a kamer vhodných k měřením realizovaných pomocí UAV nosičů. Dále stejně jako u snímačů zpracován přehled UAV prostředků vhodných pro tato měření.

Z hlediska hmotnosti a dostupnosti snímačů se pro měření pomocí UAV nosičů jeví především spektrální kamery, termokamery, laserové skenery, magnetometry a fotokamery. Po analýze UAV prostředků lze konstatovat, že nejvhodnějším nosičem pro tyto snímače jsou multikoptéry. V porovnání s ostatními konstrukcemi UAV disponují multikoptéry díky jejich masovému rozšíření nízkou cenou v porovnání se zbylými konstrukcemi, dostatečnou nosností, nenáročnou pilotáží při manuálním režimu letu a možností kolmého startu a přistání, jejich nevýhodou je nízká vytrvalost, tu lze kompenzovat vyšším počtem letů. V porovnání s běžnými civilními letouny a vrtulníky představují UAV značnou úsporu finančních prostředků při snímkování a měření menších oblastí [1].

Stejně jako provoz civilních letadel je provoz UAV prostředků v České Republice pod dohledem úřadu pro civilní letectví, provoz UAV podléhá občanskému zákoníku a doplňku X vydanému úřadem pro civilní letectví, který je popsán v kapitole věnující se legislativě provozu UAV. Získání povolení k provozování UAV pro letecké práce je v porovnání se získáním kvalifikace obchodního pilota letounů finančně i časově výrazně méně náročné.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] PAVELKA, Karel, Jaroslav ŠEDINA, Jan PACINA, Ladislav PLÁNKA, Jakub KARAS a Václav ŠAFÁŘ. RPAS - Remotely Piloted Aircraft System. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05648-6
- [2] Precizní zemědělství. *Gisat* [online]. Praha: Gisat, c2016 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/aplikace/zemedelstvi/precizni-zemedelstvi>
- [3] 3D laserové skenování lesních porostů. *Lesnická práce*. 2007, (08/2007).
- [4] MINAŘÍK, Petr. Měření toku řek dronem. *Droncentrum* [online]. 2016 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/mereni-toku-rek-dronem/>
- [5] VINCIKOVÁ, Hana, Libor PECHAR a Jan HANUŠ. *Měření a využití spektrální odrazivosti (reflektance) slunečního záření z hladiny povrchových vod: certifikovaná metodika*. Třeboň: ENKI, 2013. ISBN 978-80-7458-043-7.
- [6] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [7] Solar Photovoltaic Solar Panel Inspections. *Scan pro* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://scanpro.com.au/uav-services/pv-solar-panel-inspection/>
- [8] Letecká termovize (létání s termokamerou). *Dron kamera* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.dronkamera.cz/letecka-termovize/>
- [9] Princip leteckého laserového skenování. *VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.dibavod.cz/90/princip-leteckeho-laseroveho-skenovani.html?PHPSESSID=uxbjycatmqkz>
- [10] Metoda Laserové skenování. *Land management* [online]. 2011 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.la-ma.cz/?p=88>
- [11] Obor Fotogrammetrie a Dálkového průzkumu země (DPZ). *Land management* [online]. 2011 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.la-ma.cz/?p=70>
- [12] PECHANEC, VILÉM. Nasazení multispektrálních optických senzorů pro monitorování vlastností půdy. [PDF dokument]. Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, 2017 [cit. 6. 4. 2017]. Dostupný z: http://gislib.upol.cz/moseso/file/metodikaTA04020888-nasazeni_MS.pdf

- [12] MACHÁČEK, J. Geofyzikální průzkumné metody. [PDF dokument]. [cit. 10. 4.2017] ISBN 978-80-244-5111-4. Dostupný z:
<http://departments.fsv.cvut.cz/k135/wwwold/ge10/gfvskript.pdf>
- [13] Geologický průzkum. *NAUKA O ZEMI pro technické obory* [online]. Jan Jelínek [cit. 2017-03-31]. Dostupné z:
<http://geologie.vsb.cz/jelinek/tc-metody-pruzkumu.htm>
- [14] Gravimetrie. *Užitá geofyzika* [online]. 2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z:
<http://geofyzika.webz.cz/index.php>
- [15] Co je a k čemu slouží magnetometr? In: *Užitá geofyzika* [online]. 2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://geofyzika.webz.cz/index.php>
- [16] Magnetometrie. *SUMEC GeoPower* [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://www.sumecgeopower.com/cz/34/geophysics/magnetometry>
- [17] Seismické metody. *SUMEC GeoPower* [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z:
<http://www.sumecgeopower.com/cz/36/geophysics/seismology>
- [18] BÁRTA, Jaroslav. *POUŽITÍ GEOFYZIKÁLNÍCH METOD PRO ÚČELY OCHRANY MALÝCH VODNÍCH ZDROJŮ A JÍMACÍCH OBJEKTŮ*. Praha: G IMPULS, 2013.
- [19] MĚŘÍJOVSKÝ, Jakub. *Bezpilotní systémy: sběr dat a využití ve fotogrammetrii*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci pro katedru geoinformatiky, 2013. Terra notitia. ISBN 978-80-244-3923-5.
- [20] ZEMEK, František. *Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů*. Brno: Centrum výzkumu globální změny AV ČR, c2014. ISBN 978-80-87902-07-3.
- [21] VINCÍKOVÁ, Hana, Libor PECHAR a Jan HANUŠ. *Měření a využití spektrální odrazivosti (reflektance) slunečního záření z hladiny povrchových vod: certifikovaná metodika*. Třeboň: ENKI, 2013. ISBN 978-80-7458-043-7.
- [22] Víte, co jsou to meteorologické radiosondy? *PočasiCZ* [online]. SG, 2016 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z:
<http://www.pocasicz.cz/aktuality-o-pocasi/teorie-2451/vite-co-jsou-to-meteorologicke-radiosondy-2804>
- [23] *PIXY UAV - RC Platform* [online]. SAULT -France [cit. 2017-03-03]. Dostupné z:
http://www.vtpup.cz/common/manual/PrF_geoinf_IRD_PixyDrone_datasheet_EN.pdf
- [24] *L'Institut de recherche pour le développement* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.drone-pixy.com/contact/index.htm>

- [25] *Scout B1-100 UAV Helicopter* [online]. Aeroscout [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <http://www.aeroscout.ch/index.php/en/scout-uav-helicopter>
- [26] *Spreading Wings S1000. DJI* [online]. 2017 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <http://www.dji.com/spreading-wings-s1000>
- [28] *EBee Plus* [online]. c2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.sensefly.com/drones/ebec-plus.html>
- [29] Browse our camera payloads & accessories. *SenseFly* [online]. c2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.sensefly.com/drones/accessories.html>
- [30] Primoco UAV. *Wikipedia* [online]. 2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Primoco_UAV
- [31] *Primoco UAV* [online]. c2017 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.uav-stol.com/cs-CZ>
- [32] Penguin B UAV platform. *UAV Factory* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.uavfactory.com/product/46>
- [33] 6 m outdoor RC Blimp. *RC zeppelin* [online]. 2016 [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://rc-zeppelin.com/outdoor-rc-blimps-6m.html>
- [34] Ti Ashai. In: *Precise helicopter pais H-1000* [online]. Saitama: Ti Ashai, s. 2 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.pentaxsurveying.com/en/pdfs/H1000-leaflet-EN.pdf>
- [35] Matrice 100. *DJI* [online]. c2017 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.dji.com/matrice100>
- [36] DOPLNĚK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY. In: *Předpis L2* [online]. Praha: Úřad pro civilní letectví, 2012, s. 6 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [37] Hlava 3. In: *Předpis L2* [online]. Praha: Úřad pro civilní letectví, 2013, s. 13 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: www.caa.cz/file/6401_1_1/
- [38] Termokamery. In: *Brožura-E2013-06-A* [online]. s. 7 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: http://www.hotset.cz/uws_files/termokamery/termokamery.pdf
- [39] OPTRIX PI Netbox. In: *PI NetBox E2013-01-A* [online]. Berlín, 2013, s. 2 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: http://www.hotset.cz/uws_files/termokamery/datasheet-optris-pi-netbox.pdf
- [40] *WORKSWELL WIRIS 2nd gen* [online]. In: . 2. Praha, 2016, s. 8 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <https://www.workswell.cz/wp-content/uploads/WIRIS-2nd-Gen-datasheet-EN.pdf>

- [41] RIEGL VX-480-U. In: *Datasheet, RIEGL VX-480-U* [online]. 1. Praha, 2015, s. 6 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/DataSheet_VQ-480-U_2015-03-24.pdf
- [42] RIEGL VUX-1UAV. In: *Datasheet, RIEGL VUX-1UAV* [online]. 1. Horn: Riegl, 2017, s. 6 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/DataSheet_VUX-1UAV__2017-04-18_01.pdf
- [43] *IBIS-FS Plus* [online]. IDS Georadar, 2016 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://idsgeoradar.com/sv-se/products/interferometric-radar/ibis-fs-plus>
- [44] *CS-L Cesium magnetometer* [online]. In: . Scintrex, s. 2 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: [http://scintrexltd.com/dat/content/CS-L%20Brochure%20Rev%202\(1\).pdf](http://scintrexltd.com/dat/content/CS-L%20Brochure%20Rev%202(1).pdf)
- [45] AISA KESTREL. In: *AKEST-D-1-16* [online]. Specim, 2016, s. 2 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.specim.fi/downloads/AisaKESTREL-ver2-2016.pdf>
- [46] Nikon D7200. *Nikon* [online]. Nikon, 2017 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: http://www.nikon.cz/cs_CZ/product/digital-cameras/slr/consumer/d7200#tech_specs
- [47] *GoPro Hero 5 specifications* [online]. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/products/gopro-hero5-black/specs/>
- [48] *Yamaha R-MAX* [online]. Austrálie, 2013 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://rmax.yamaha-motor.com.au/>
- [49] Raven RQ-11. *Aero vironment* [online]. Aero vironment, 2017 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://www.avinc.com/uas/view/raven>
- [50] MQ022HG-IM-SM5X5-NIR. *Ximea* [online]. 2017 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <https://www.ximea.com/en/products/hyperspectral-cameras-based-on-usb3-xispec/mq022hg-im-sm5x5-nir>
- [51] Aeromapper 300. *Aeromao* [online]. Aeromao [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: http://www.aeromao.com/aeromapper_300/

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 Charakteristický rozsah hodnot měrných odporů různých hornin [12].

Obrázek 2 Radarogram. Šipka ukazuje na pravděpodobný hrob nebo jámu.

<http://geofyzika.webz.cz/imgostat/radarogram.jpg>

Obrázek 3 Základní oblasti elektromagnetického spektra [12].

Obrázek 4 Laserový snímek terénu okolí sopky Vesuv

<http://www.avioriprese.it/wp-content/uploads/Lidar-1-2yc9g7l2ad8qadoyursikg.jpg>

Obrázek 5 Model lomu Olbranovice zpracovaný pomocí fotogrammetrie

http://www.mdpgeo.cz/wcd/hi-tech/erdas_lom_olbramovice.png

Obrázek 6 Mapa zásobení půdy fosforem

http://www.vobosystem.cz/editor/image/stranky3_galerie/tn_zoom_obrazek_1571.png

Obrázek 8 Termální snímek fotovoltalických panelů

http://scanpro.com.au/wp-content/uploads/2015/07/TI-Solar_Scan.jpg

Obrázek 7 Mapa koncentrace chlorofylu v jezeře

http://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-06-07819/article_deploy/html/images/remotesensing-06-07819f3-1024.png

Obrázek 9 Snímek objemového výpočtu množství kameniva v kamenolomu

http://www.uavonic.com/wp-content/uploads/2016/07/Model_kamenolom_hotovo.png

Obrázek 10 Termokamera PI200

Obrázek 11 PI Netbox připojený ke kameře série PI [39]

Obrázek 12 Workswell WIRIS 640 [40]

Obrázek 13 Aisa KESTREL 10 [45]

Obrázek 14 MQ022HG-IM-SM5X5-NIR [50]

Obrázek 15 RedEdge

Obrázek 16 Riegl VUX-1UAV

Obrázek 17 Scintrex CS-L [44]

Obrázek 18 IBIS-FS Plus

Obrázek 19 Nikon D7200 [46]

Obrázek 20 GoPro Hero 5 [47]

Obrázek 21 Radiosonda

http://www.pocasicz.cz/data/blob/unknown-image_jpeg-20160927111542-3599-sondaa.jpg

Obrázek 22 Balon vypouštěný českým hydrometeorologickým ústavem

<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/balon.jpg>

Obrázek 23 Vzrucholod' RC Blimp [33]

Obrázek 24 Letoun eBEE [28]

Obrázek 25 Aeromapper 300 [51]

Obrázek 26 Primoco [31]

Obrázek 27 Raven RQ-11 [49]

Obrázek 28 Penguin B [32]

Obrázek 29 PIXY UAV [24]

Obrázek 31 Scout B1- 100 [25]

Obrázek 32 Pais H-1000

<http://www.geo-matching.com/upload/3442-general.jpg>

Obrázek 33 Yamaha R-MAX [48]
Obrázek 35 Multikoptéra DJI S1000
Obrázek 36 DJI matrice 100 [35]
Obrázek 37 provoz v ATZ a prostorech třídy G a E [36]
Obrázek 38 provoz v CTR a dalších prostorech [36]
Obrázek 39 legenda k obrázkům 32 a 33 [36]

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 Běžně měřené oblasti elektromagnetického spektra [12].
Tabulka 2 Technické údaje PI200 / PI450 [38]
Tabulka 3 Technické údaje Pi Netbox [39]
Tabulka 4 technické údaje WIRIS 640 [40]
Tabulka 5 Technické údaje Aisa KESTREL 10 / 19 [45]
Tabulka 6 Technické parametry MQ022HG-IM-SM5X5-NIR [50]
Tabulka 7 Technické parametry RedEdge
Tabulka 8 Technické údaje Riegl VQ-480-U / VUX-1UAV [41][42]
Tabulka 9 Technické parametry Scintrex CS-L [44]
Tabulka 10 Technické údaje IBIS-FS Plus f43]
Tabulka 11 Technické parametry Nikon D7200 [46]
Tabulka 12 Technické parametry GoPro Hero 5 [47]
Tabulka 13 Technické parametry vybraných termokamer a spektrálních kamer
Tabulka 14 Technické parametry vybraných snímačů
Tabulka 15 Technické údaje vybraných fotokamer
Tabulka 16 Technické údaje vzducholodi (6 m a 10m verze) [33]
Tabulka 17 Technické údaje letounu eBEE [28]
Tabulka 18 Technické parametry Aeromapper 300 [51]
Tabulka 19 Technické parametry Primoco [30] [31]
Tabulka 20 technické parametry RQ-11 Raven [49]
Tabulka 21 Technické údaje Penguin B [32]
Tabulka 22 technické parametry PIXY UAV
Tabulka 23 Technické parametry vrtulníku Scout B1-100 [25]
Tabulka 24 Technické parametry Pais H-1000 [34]
Tabulka 25 Technické údaje Yamaha R-MAX [48]
Tabulka 26 Technické parametry DJI S1000
Tabulka 27 Technické parametry DJI matrice 100 [35]
Tabulka 28 Parametry jednotlivých leteckých nosičů
Tabulka 29 Výhody a nevýhody jednotlivých typů UAV
Tabulka 30 Omezení provozu a použití jednotlivých UAV [36].

10 Seznam použitých zkratek a symbolů

UAV	Unmanned aerial vehicle
UAS	unmanned aerial system
RPA	Remotely piloted aircraft system
USA	spojené státy americké
BLDC	brushless dc motor
EPP	extrudovaný polypropylen
ČR	Česká Republika
LED	Light emitting diode
GPS	global position system
Li-Pol	lithium – polymer
SSD	solid slate drive (pevný disk bez pohyblivých částí)
DC	stejnoseměrné napětí
SD	Secure digital
USB	Universal serial bus
CTR	řízený okružek letiště
TMA	koncová řízená oblast
MCTR	vojenský řízený okružek letiště
MTMA	vojenská koncová řízená oblast
ATZ	letištní provozní zóna
ICAO	mezinárodní civilní letecká organizace
ÚCL	úřad pro civilní letectví
LKP	zakázaný prostor
LKD	nebezpečný prostor
LKR	omezený prostor
TRA	dočasně vymezený prostor
TSA	dočasně vyhrazený prostor
AGL	výška nad zemí
apod.	a podobně
h	hodina
min	minuta
m	metr
cm	centimetr
Kg	kilogram
Km/h	kilometr za hodinu
m/s	metr za sekundu
Ccm	kubický centimetr (krychlový)
m ³	metr krychlový
W	watt
kW	kilowatt
HP	koňská síla
°	stupeň
°C	stupeň celsia
mAh	miliampér hodina
px	pixel
3D	trojrozměrný

Hz	hertz
Gb	GIGABITE
V	volt
nT	nano Tesla
ft	feet (palec)
Nm	námořní míle